

Kants Theorie der Materie und ihre Wirkung auf die zeitgenössische Chemie¹

von Martin Carrier, Konstanz

I. Vorbemerkung: Der Status der Kantschen Theorie

Kants Theorie der Materie ist eine Spielart des physikalischen *Dynamismus*, der im 18. Jahrhundert in mannigfachen Versionen verbreitet war, und dessen kennzeichnende These darin bestand, daß nicht Ausdehnung und Undurchdringlichkeit als primäre Charakteristika der Materie zu betrachten sind, daß diese Eigenschaften vielmehr als Wirkung grundlegender, der Materie innewohnender Kräfte zu gelten haben. Die Kraft geht also der Materie ontologisch, der Kraftbegriff dem Materiebegriff methodologisch voran. Es mag dabei befremdlich erscheinen, Kants Theorie derart unmittelbar in eine innerwissenschaftliche Strömung einzuordnen. Schließlich finden sich die zentralen Aspekte der Kantschen Lehre in den *Metaphysischen Anfangsgründen der Naturwissenschaft*², deren Gegenstand offenbar die Metaphysik, nicht die Physik zu sein scheint. Daher ist eine Vorbemerkung zum Status der Kantschen Theorie erforderlich.

Kants Ziel ist eine Klärung wissenschaftlicher Begriffe. Angestrebt wird eine Spezifizierung derjenigen Merkmale, die einem besonderen Begriff der Wissenschaft zukommen muß, damit er ‚real möglich‘, der von ihm bezeichnete Gegenstand also möglicher Gegenstand der Erfahrung sein kann. Diese Spezifizierung erfolgt durch Anwendung der Kategorientafel auf einen Begriff, d. h. im vorliegenden Falle auf den Begriff der Materie (vgl. *M. A. d. N.* 474–477). Kants Frage ist also, wie Materie (real) möglich ist, und die Antwort darauf wird durch das Verfahren der *metaphysischen Konstruktion* gegeben, welches durch Anwendung der Kategorientafel auf einen besonderen Begriff jene besonderen Bestimmungen erzeugen soll, die dem dadurch bezeichneten Objekt zukommen müssen, soll es Gegenstand der Erfahrung werden. Es geht Kant also um eine Spezialisierung der Kategorien zu denjenigen besonderen Eigenschaften, die das

¹ Ich danke Prof. Dr. G. Wolters (Univ. Konstanz) für die fruchtbaren Diskussionen, die ich mit ihm im Rahmen eines gemeinsam veranstalteten Kant-Seminars führen konnte und die zur Klärung vieler Aspekte dieses Aufsatzes beigetragen haben. Ebenso bin ich Dr. A. Rüger (Univ. of Oregon, Eugene) für seine wertvollen Bemerkungen zu Dank verpflichtet. Darüber hinaus gilt mein Dank Prof. Dr. F. Krafft (Univ. Mainz) für Hinweise auf einschlägige Literatur. – Manuskriptabschluß: Februar 1987.

² I. Kant, *Metaphysische Anfangsgründe der Naturwissenschaft* (1786), in: Kants Werke, Akademie-Ausgabe (im folgenden: Ak) IV, 465–566 (im folgenden *M. A. d. N.*).

Denken des Daseins einer besonderen Art von Dingen möglich machen.³ Das Dasein selbst ist nicht a priori, sondern nur empirisch zu bestimmen; insofern ist der Materiebegriff empirisch (vgl. *M. A. d. N.* 472). Nicht *daß* Materie möglich, sondern *wie* sie möglich ist, ist Gegenstand transzendentaler Argumentation. Die Intension des Materiebegriffs ist daher a priori, die Extension aber nur aus Erfahrung bestimmbar.⁴

Von besonderer Bedeutung für Kants Zugangsweise ist dabei ein Begriff von Erfahrung, der sich wesentlich auf das Konzept streng gültiger Gesetzmäßigkeiten stützt. „Natur ist das Dasein der Dinge, so fern es nach allgemeinen Gesetzmäßigkeiten bestimmt ist.“⁵ Diese Allgemeinheit und Ausnahmslosigkeit der Geltung von Gesetzen kann aber nicht durch Erfahrung, sondern nur durch den Rückgriff auf die Bedingungen der Möglichkeit der Erfahrung begründet werden. Sie stammt also aus der erfahrungskonstitutiven Rolle der Kategorien, die man demnach auch als Kants Bedingungen der Gesetzesartigkeit betrachten kann.⁶

Diese Kennzeichnung von Kants Philosophie der Wissenschaft läßt erkennen, was ‚Metaphysik‘ innerhalb des Kantschen Zugangs meint und was nicht. Das Metaphysische zeigt sich nicht in der Behandlung einer besonderen Art von Gegenständen, sondern in der besonderen Behandlung der gewöhnlichen Gegenstände. Es geht Kant nicht um eine metaphysische Materie, deren Dasein von metaphysischen Kräften abhinge, sondern um die gewöhnliche Materie und deren Abhängigkeit von Newtonschen Kräften.⁷ Jedoch soll deren Behandlung nicht anhand besonderer empirischer Gegebenheiten erfolgen, sondern durch die Analyse der Bedingungen der Möglichkeit der Erfahrung. Kant faßt nicht einen eigenständigen Bereich jenseits der physikalischen Welt ins Auge. Vielmehr ist davon auszugehen, daß Kant Körper meint, wenn er ‚Körper‘ sagt.

Es läuft dem Status der Kantschen Lehre daher keineswegs zuwider, sie als gewöhnliche physikalische Theorie zu behandeln, wie es im folgenden geschehen soll. Der metaphysische Charakter der Theorie liegt weniger in ihrem Inhalt als vielmehr in ihren Geltungsansprüchen und Begründungsverfahren. Ich werde also den Inhalt der Theorie zu rekonstruieren und ihre Wirkungen auf die zeitgenössische Chemie nachzuzeichnen versuchen, ohne auf die Gründe einzugehen, die für Kant deren Geltung verbürgten.

³ Vgl. P. Plaaß, *Kants Theorie der Naturwissenschaft. Eine Untersuchung der Vorrede von Kants ‚Metaphysischen Anfangsgründen der Naturwissenschaft‘*, Göttingen 1965, 74.

⁴ Vgl. Plaaß, 89.

⁵ I. Kant, *Prolegomena zu einer jeden künftigen Metaphysik, die als Wissenschaft wird auftreten können* (1783), in: Ak IV, 253–384, hier: 294.

⁶ Vgl. R. E. Butts, *The Methodological Structure of Kant's Metaphysics of Science*, in: ders. (ed.), *Kant's Philosophy of Physical Science. Metaphysische Anfangsgründe der Naturwissenschaft 1786–1986*, Dordrecht u. a. 1986, 163–199, hier: 168. Für einen knappen Abriß von Kants kritischer Philosophie vgl. G. Wolters, Artikel: *Kant* (I), in: J. Mittelstraß (ed.), *Enzyklopädie Philosophie und Wissenschaftstheorie* II, Mannheim/Wien/Zürich 1984, 345–351. Für einen Überblick über Kants Naturphilosophie vgl. G. Wolters, *Immanuel Kant*, in: G. Böhme (ed.), *Klassiker der Naturphilosophie*, München 1989, 203–219.

⁷ Allerdings sind Kants Grundkräfte mit Newtonschen Kräften nicht in jeder Hinsicht identisch, sondern mit diesen nur extensional äquivalent (s. u. III.2).

Da die Wendung Kants zur kritischen Philosophie aber vor allem diese Begründungsverfahren betreffen, ist es für diese Zwecke zulässig, vorkritische und kritische Materietheorie aus einem einheitlichen Gesichtswinkel zu diskutieren.

II. Kants vorkritische Materietheorie

1. Die *Monadologia physica*

Die hauptsächliche Quelle der vorkritischen materietheoretischen Vorstellungen Kants ist die 1756 (zum Zwecke der Habilitation) verfaßte *Monadologia physica*.⁸ Kant führt hier einfache Substanzen, Monaden, ein, deren Einfachheit dadurch gekennzeichnet ist, daß sie nicht aus mehreren Teilen bestehen (vgl. *Monadologie* 523 / Ak I,477). Die Zusammensetzung dieser Elemente zu Körpern erfolgt durch die Wirkung attraktiver und repulsiver Kräfte (vgl. *ebd.* 519 / Ak I,476). Derartige Kräfte hatte Kant bereits in seiner *Allgemeinen Naturgeschichte und Theorie des Himmels*⁹ von 1755 angenommen, wo er die Entstehung des Planetensystems aus einem ursprünglichen Chaos durch die Wirkung jener beiden Kräfte verständlich machen wollte.¹⁰ Während es jedoch 1755 noch hieß, beide seien „aus der Newtonischen Weltweisheit entlehnet“,¹¹ wird ihre Einführung 1756 bereits auf eine Weise begründet, die im Kern die spätere transzendente Argumentation der *M.A.d.N.* enthält. Man ist nämlich, „setzt man bloß eine

⁸ Kant, *Der Gebrauch der Metaphysik, sofern sie mit der Geometrie verbunden ist, in der Naturphilosophie, dessen erste Probe die physische Monadologie enthält*, in: W. Weischedel (ed.), Immanuel Kant. Vorkritische Schriften bis 1768 II, (lat./dt.), Frankfurt ³1982, 513–563 / Ak I,473–487 (im folgenden *Monadologie*).

⁹ I. Kant, *Allgemeine Naturgeschichte und Theorie des Himmels, oder Versuch von der Verfassung und dem mechanischen Ursprunge des ganzen Weltgebäudes nach Newtonischen Grundsätzen abgehandelt*, in: W. Weischedel (ed.), 1982 (Anm. 8), 219–396 / Ak I,215–368 (im folgenden *Theorie des Himmels*).

¹⁰ Kant wird so zu einem Protagonisten der Auffassung von der Evolution des Kosmos; vgl. Wolters 1984 (Anm. 6), 344.

¹¹ Kant, *Theorie des Himmels* 242 / Ak I,234. In der Tat spricht Newton bereits im Vorwort der *Principia* von diesen beiden Kräften (vgl. I. Newton, *Mathematische Prinzipien der Naturlehre*, London ³1726, J. P. Wolfers (ed./trans.), Darmstadt 1963, 2). Allerdings betonen sowohl die *Principia* als auch die *Opticks* die attraktiven Kräfte stärker als die repulsiven, ein Unterschied, der auch Kant nicht entgangen ist. Er bemerkt nämlich, daß der Repulsion „vielleicht die Naturwissenschaft des Newton nicht so viel Deutlichkeit als der ersteren [der Attraktion] gewähren kann ...“ (Kant, *Theorie des Himmels* 242 / Ak I,234 (ursprünglich „die erstere“)). Die repulsiven Kräfte gerieten erst durch die *Vegetable Statics* des Stephen Hales (1727) stärker in den Blickpunkt (vgl. A. Thackray, *Atoms and Powers. An Essay on Newtonian Matter-Theory and the Development of Chemistry*, Cambridge Mass. 1970, 117–118). Eine Zusammenfassung von Hales' Theorie gibt I. B. Cohen, *Franklin and Newton. An Inquiry into Speculative Newtonian Experimental Science and Franklin's Work in Electricity as an Example Thereof*, Cambridge Mass. 1966, 266–275. Offenbar sind Kant die Experimente Hales' und die durch diese eingeleitete vermehrte Gewichtung der Repulsion im Newtonianismus unbekannt; für ein weiteres Indiz dafür s. u. III.4.

zurückstoßende Kraft, nicht in der Lage . . . , die Verbindung der Elemente, um Körper zusammenzusetzen, zu verstehen, sondern eher die Zerstreuung, setzt man aber bloß eine anziehende, zwar die Verbindung, nicht jedoch die bestimmte Ausdehnung und den Raum . . .“ (*Monadologie* 519, 521 / Ak I,476). Analog heißt es 1786: „Also würde die Materie durch ihre repulsive Kraft . . . sich ins Unendliche zerstreuen . . . Folglich würden bei bloß repellirenden Kräften der Materie alle Räume leer, mithin eigentlich gar keine Materie dasein“ (*M. A. d. N.* 508). Wäre umgekehrt Materie durch bloße Attraktion bestimmt, so würde sie „in einem Punkt zusammenfließen, und der Raum würde leer, mithin ohne alle Materie sein“ (*ebd.* 511). Zwar hat das Argument nun eine transzendente Wendung genommen – beide Kräfte gehören jetzt zu den Bedingungen der Möglichkeit der Erfahrung –, ist aber inhaltlich unverändert geblieben. Einzelheiten wie diese rechtfertigen die oben angesprochene einheitliche Behandlung von vorkritischer und kritischer Materietheorie.

Während der Raum ins Unendliche teilbar ist, ist es die Materie keineswegs. Kants Monaden sind einfach, aber ausgedehnt. Wären sie es nicht, so könnte aus ihrer Zusammensetzung kein Körper endlicher Größe entstehen.¹² Kants Problem besteht nun darin, deutlich werden zu lassen, wie eine ausgedehnte Monade dennoch keine Teile enthält. Die Lösung dieses Problems sucht Kant in der, in ihrer modernen Form von Leibniz begründeten, relationalen Theorie des Raums, welche den Raum als Inbegriff der möglichen Anordnung von Körpern begreift. Der Raum nämlich ist für Kant „von Substantialität völlig frei und eine Erscheinung des äußeren Verhältnisses von vereinigten Monaden . . .“ (*Monadologie* 531 / Ak I,479). Wenn der Raum nur das *äußere* Verhältnis von Monaden ist, dann impliziert die Teilbarkeit des Raums keinesfalls auch die Teilbarkeit der Monaden. Darüber hinaus läßt diese relationale Theorie auch verstehen, wie trotz der unendlichen Teilbarkeit des Raums endliche Raumstücke (also Längen) möglich sind: Der Raum *besteht nicht* aus Punkten; Raumpunkten kommt keine unabhängige Existenz zu (vgl. *ebd.* 533 / Ak I,480).

Dieselbe Argumentationslinie, die Kant bei der Analyse des Verhältnisses von Monaden verfolgt, findet sich auch bei der Behandlung der Struktur der Monaden selbst. So wird die Undurchdringlichkeit der Monaden auf die Wirkung eben derselben repulsiven Grundkraft zurückgeführt, welche auch das Arrangement mehrerer Monaden (mit-)bestimmt (vgl. *ebd.* 541 / Ak I,482). Die Solidität der Monaden ist also kein primäres Faktum der Natur, sondern Wirkung tieferliegender Agentien. Die Anwendung des Relationismus auf die Monadenstruktur führt dann auf die These, daß das Innere der Monaden räumlich unbestimmt ist. „Denn da der Raum durch bloße äußere Bestimmungen zustande kommt, so wird alles, was der Substanz innerlich ist, d. i. die Substanz selber, das Subjekt der äußeren Bestimmungen, eigentlich durch den Raum nicht bestimmt, sondern lediglich diejenigen ihrer Bestimmungen, welche zu Äußerem in Verhältnis stehen, darf man im Raume suchen“ (*ebd.* 537 / Ak I,481). In diesem Sinne

¹² *Monadologie* 531, 533 / Ak I,479–480. Dieses Argument wurde bereits in der Antike zugunsten des Atomismus ins Feld geführt.

haben Monaden keinen Durchmesser, sondern nur einen Umfang;¹³ vom Monaden-durchmesser zu reden ist gleichsam ein Kategorienfehler. Kants Position in dieser Frage entspringt konsequent aus seiner relationalen Raumauffassung. Es ist dieser Relationismus, der eine widerspruchsfreie Verknüpfung von Ausdehnung und Einfachheit erlaubt: Monaden sind physisch unteilbar, weil in ihnen kein Raum ist.¹⁴

Um zu Monaden endlicher Größe zu gelangen, setzt Kant – wie oben erwähnt – neben die Repulsion eine attraktive Kraft. Dabei erscheint es plausibel, für die Repulsion anzunehmen, „daß deren Spannung der Vermehrung des Raums, in den sie sich ausdehnt, entsprechend in umgekehrtem Verhältnisse schwächer werde ...“ (*Monadologie* 549 / Ak I,484; im Original als Frage formuliert). Dies bedeutet, daß die Repulsion mit der dritten Potenz des Abstands zur Monade abfällt. Für die Attraktion wird hingegen eine quadratische Entfernungsabhängigkeit angenommen, was Kant durch die Berufung auf das entsprechende Ausbreitungsgesetz des Lichts und auf eine analoge Hypothese von John Keill, einem Mitglied des inneren Newton-Zirkels, begründet.¹⁵

Diese Kraftgesetze benutzt Kant, um das Theorem abzuleiten, daß alle Monaden gleiches Volumen aufweisen. Das Volumen der Monaden ist nämlich durch den Gleichgewichtspunkt von Attraktion und Repulsion bestimmt. Schreibt man a/r^3 für die Repulsion und b/r^2 für die Attraktion, wobei die Konstanten a und b die Stärke beider Kräfte bezeichnen, und führt zusätzlich eine Materialkonstante c ein, die für die Attraktion und Repulsion derselben Elemente gleich sein soll, so erhält man das Monadenvolumen aus der Bedingung: $ac/r^3 = bc/r^2$, was auf das substanzunspecifische Volumen $V = 4\pi a^3/3 b^3$ führt.¹⁶ Die Monaden aller Elemente haben daher gleiches Volumen (vgl. *Monadologie* 553 / Ak I,485).

¹³ Vgl. *ebd.* 537, 539 / Ak I,481–482. Allerdings hält Kant es für glücklich, zwischen der Monade und der Sphäre ihrer Wirksamkeit zu unterscheiden und nur der ersteren einen Durchmesser abzusprechen. Dies wird hier als Vorgriff auf die unten diskutierte inkohärente Schlußwendung der *Monadologie* aufgefaßt.

¹⁴ Adickes mißversteht also Kants Konzeption, wenn er in der *Monadologie* nur eine lose Verbindung zwischen der Raum- und der Materietheorie erkennen kann; vgl. E. Adickes, *Kant als Naturforscher* I, Berlin 1924, 171.

¹⁵ Vgl. *Monadologie* 549 / Ak I,484. Von Keill stammt eine erste Ausarbeitung der Newtonianischen Chemie, in welcher er kurzreichweitige, substanzspezifische Kräfte für das chemische Verhalten der Stoffe verantwortlich machte. Die Kurzreichweitigkeit wurde dabei (ganz im Sinne Newtons) durch einen schnelleren als quadratischen Abfall mit der Entfernung zustande gebracht. Die einzige quadratisch abfallende Kraft bei Keill ist (wie bei Newton) die Gravitation. Für eine Zusammenfassung der Lehre Keills vgl. F. Rosenberger, *Isaac Newton und seine physikalischen Principien. Ein Hauptstück aus der Entwicklungsgeschichte der modernen Physik*, Leipzig 1895 (repr. 1978), 344–351. Für die Geschichte des frühen Newtonianismus vgl. Thackray 1970 (Anm. 11), 43–82; zur frühen Newtonianischen Chemie vgl. M. Carrier, *Die begriffliche Entwicklung der Affinitätstheorie im 18. Jahrhundert. Newtons Traum – und was daraus wurde*, *Archive for History of Exact Science* 36 (1986) (a), 327–389, hier: 328–353.

¹⁶ Die Gleichung spezifiziert den Radius zu $r = a/b$, dem jedoch aus den erwähnten Gründen keine physikalische Bedeutung zukommt. Man muß sich daher auf das Kugelvolumen $4/3 \pi r^3$ beziehen.

Dies bedeutet jedoch keineswegs, daß die Monaden aller Elemente letztlich von gleicher Art wären. Vielmehr haben sie verschiedene Masse und damit unterschiedliche Dichte. Die variable Dichte makroskopischer Körper beruht also auf der Verschiedenheit der Elemente und bedarf daher zu ihrer Erklärung nicht der Annahme leerer Räume zwischen den Monaden (vgl. *ebd.* 555, 557 / Ak I,485–486). Damit grenzt sich Kant von dem üblichen korpuskulartheoretischen Erklärungsansatz ab, welcher die unterschiedliche Dichte der Körper gerade auf die unterschiedliche korpuskulare Packungsdichte zurückführte. Gegen die Annahme interkorpuskularer Vakua führt Kant (neben zwei mißglückten physikalischen Gründen) ein methodologisches Argument an: Die korpuskulare Erklärung variabler makroskopischer Dichte ist zu unbestimmt, sie gibt der Vorstellung beliebig gestalteter Zwischenräume Platz, die „aufs Geratewohl nach Belieben erdichtet“ sind.¹⁷ Zwar gibt Kant eine (etwas dunkle) unabhängige Begründung für die Unterschiedlichkeit der Massen der Monaden verschiedener Elemente (vgl. *Monadologie* 553, 555 / Ak I,485), aber der entscheidende Beweggrund für diese Annahme ist sicher in seinen plenistischen Neigungen zu suchen.

Bis zu dieser Stelle läßt sich Kants frühe Materietheorie kohärent rekonstruieren. Dies gilt jedoch nicht mehr für die Schlußwendung, die Kant seiner Theorie gibt. Dabei geht es um die Einführung der Elastizität der Monaden. Bei Stößen nämlich werden zwei Monaden ein wenig in den von der jeweils anderen eingenommenen Raum eindringen. Kant nimmt nun in diesem Zusammenhang an, daß sich der kubische Abfall der Repulsion auch in das Innere der Monadensphäre fortsetzt. Es ist „ersichtlich, daß diese Zurückstoßungskraft, je näher man an den Mittelpunkt der Wirksamkeit herankommt, auch desto stärker entgegenwirkt ... [und] am Punkt selber notwendig unendlich ist ...“ (*ebd.* 561 / Ak I,487). Diese Annahme stellt einen konzeptionellen Bruch dar, da nach der Konzeption der Raumtheorie von Abständen innerhalb der Monadensphäre nicht gesprochen werden kann. Darüber hinaus erweckt die Passage den Eindruck, daß die Monade nun als physischer *Punkt* mit einer umhüllenden Kraftsphäre zu denken ist, was mit der zuvor entwickelten Argumentation nicht zusammenstimmt. Hier hat sich Kant von seinem Bestreben, auch den „Ursprung der ursprünglich elastischen Körper oder Medien“ (*ebd.* 563 / Ak I,487), nämlich Äther und Feuerstoff (d. i. Wärmestoff), im Rahmen seiner Theorie einen Platz anzuweisen, in ein konzeptionelles Schlagloch führen lassen.

2. Kants *Monadologie* im Kontext des *Dynamismus*

Es ist nützlich, Kants frühe Materietheorie vor dem Hintergrund und im Zusammenhang anderer dynamistischer Strömungen zu betrachten, damit die Besonderheiten der Kantschen Auffassung klarer erkennbar werden. Wie bereits erwähnt, stützt sich Kants Einführung attraktiver und repulsiver Kräfte wesentlich auf die Newtonsche Theorie. Durch diese fühlten sich aber auch andere veranlaßt, jenen Newtonschen Kräften eine

¹⁷ *Monadologie* 557, 559 / Ak I,486. Dieses methodologische Argument gegen den leeren Raum kehrt in gleicher Weise in den *M. A. d. N.* wieder; vgl. *M. A. d. N.* 524, 525.

materiekonstitutive Rolle zuzuweisen (welche ihnen bei Newton keineswegs zukommt).

So bemerkte Gowin Knight 1748, daß die Annahme Newtonscher Kräfte die Hypothese besonderer Partikelgestalten, die Newton mit der korpuskularen Tradition noch unterstellt hatte¹⁸, überflüssig machte. In einer Newtonschen Welt ließen sich Teilchenwechselwirkungen besser durch spezifische Kraftwirkungen als durch spezifische Partikelfiguren beschreiben.¹⁹ Konsequenterweise nahm Knight daher an, daß alle Teilchen gleiche Größe hätten und von gleicher Gestalt, nämlich kugelförmig seien. Zusätzlich unterstellte er zwei Arten von Materie, die eine abstoßend, die andere anziehend, wobei beide Kraftwirkungen umgekehrt proportional zum Abstand abfallen sollten.²⁰ Wegen der repulsiven Wirkungen der (im Grundsatz ins Unendliche teilbaren) Materiekorpuskeln ist kein unmittelbarer Kontakt zwischen ihnen möglich. Diese repulsiven Wirkungen treten für kleine Abstände auch bei den Teilchen der attraktiven Materieart in Erscheinung. "Attracting corpuscles approach each other with an increasing force, till they come so near, that the repulsion at their surfaces begins to counteract their force of attraction ... and at a certain distance the repulsion at their surfaces becomes so strong, as to equal and quite destroy the attracting force ... This law of cohesion very well explains the cause of elasticity in bodies."²¹

Ebenso wie Knight führte auch Rudjer Boscovich 1758 die Undurchdringlichkeit der Körper auf die Wirkung repulsiver Newtonscher Kräfte zurück. Ein Zusammenstoß harter Korpuskeln würde zu einer instantanen Geschwindigkeitsänderung führen, die Leibniz' Kontinuitätsprinzip verletzte. Da dieses aber induktiv und metaphysisch gut gesichert ist, müssen sich die Geschwindigkeiten stoßender Körper ändern, bevor sie aufeinanderprallen.²² Dies begründet die Einführung repulsiver Kräfte. Um die Kontinuität zu wahren, müssen jene Kräfte aber offenbar jede beliebige Geschwindigkeit eines anprallenden Teilchens kompensieren können, d. h. sie müssen für verschwindende Abstände über alle Grenzen wachsen.²³ Andererseits macht die Gravitation deutlich, daß für große Distanzen ein quadratisch-attraktiver Verlauf des Kraftgesetzes vorliegen muß, und die Kohäsion und chemische Kräfte zeigen, daß noch weitere attraktive und repulsive Bereiche vorliegen. Insgesamt stellt sich Boscovich damit eine Kraftfunktion vor, die in Abhängigkeit von der Entfernung zum Teilchen abwechselnd Regionen von Attraktion und Repulsion aufweist.²⁴

¹⁸ Vgl. I. Newton, *Opticks or A Treatise of the Reflections, Refractions, Inflections & Colours of Light*, London 1730, New York 1979, 400.

¹⁹ Für die folgende Skizze der Konzeption Knights vgl. Thackray 1970 (Anm. 11), 141–147.

²⁰ Die $1/r$ -Abhängigkeit der Repulsion tritt bereits bei Newton auf (vgl. Newton 1726 (Anm. 11), 292) und findet sich auch bei Hales wieder (vgl. Cohen 1966 (Anm. 11), 273).

²¹ Knight, zitiert nach Thackray 1970 (Anm. 11), 145.

²² Vgl. R. J. Boscovich, *Theoria philosophiae naturalis redacta ad unicum legem virium in natura existentium*, Venedig 1763, J. M. Child (ed./trans.) (lat./engl.), Chicago 1922, 58–77.

²³ Vgl. *ebd.* 76–81.

²⁴ Vgl. *ebd.* 80–83.

Da jeder Kontakt von Materieteilen durch die Repulsion sofort getrennt würde, müssen die primären Partikel vollkommen einfach sein. Dies beinhaltet für Boscovich, daß es sich bei diesen Partikeln um nicht-ausgedehnte Punkte handeln muß.²⁵ Man erkennt, daß Kants relationale Raumtheorie gerade diese Konsequenz vermeidet: Innerhalb der Monaden ist kein Raum und daher auch keine mit abnehmender Entfernung anwachsende Repulsion, die eine räumlich ausgedehnte Monade in Stücke reißen könnte.²⁶ Zudem nahm Boscovich an, daß alle materiellen Punkte die gleiche Masse und auch die gleiche Kraftfunktion aufwiesen.²⁷ Auf der letzten Stufe der Analyse besteht die Materie also für Boscovich aus gänzlich gleichartigen Teilen.

Boscovichs Theorie hat unter anderem das Ziel einer Vereinheitlichung des Newtonschen Kraftansatzes. Newton hatte bereits damit begonnen, auch chemische Reaktionen durch der Gravitation analoge Kräfte zu erklären²⁸, und dieser Ansatz war von Keill weitergeführt worden (vgl. Anm. 15). Wegen der offenkundigen Substanzspezifität chemischer Kräfte war man gezwungen, eine ständig wachsende Vielfalt derartiger Attraktionen einzuführen, was die ursprüngliche Homogenität des Newtonschen Ansatzes zunehmend zerstörte. Gerade diese Homogenität suchte Boscovich durch seine universelle Kraftfunktion wiederzugewinnen. Dabei schloß er sich konzeptionell eng an Newton an. Bereits dieser hatte nämlich eine alternierende Folge repulsiver und attraktiver Bereiche vorgesehen, wobei allerdings für kleine Entfernungen die Attraktion die Oberhand behielt.²⁹ Jedenfalls optieren Newton und Boscovich für ein *Alternationsmodell* der Kraftfunktion, dem zufolge (1) die repulsiven und attraktiven Kräfte ihren Sitz in *denselben* Teilchen haben und (2) sich in ihrer Wirksamkeit *abwechseln*.

Dies ist offenbar nur zum Teil das Modell Kants. Es läßt sich jedoch eine weitere Argumentationslinie identifizieren, die ebenfalls Aspekte der Kantschen Vorstellungen enthält. Ausgangspunkt dieser Strömung ist Herman Boerhaaves Theorie des Feuers, d. h. des Wärmestoffs.³⁰ Boerhaaves Wärmestoff besteht aus gewichtslosen, materiellen Teilchen, die einander abstoßen und auf diese Weise bei Eindringen in einen Körper dessen thermische Expansion hervorbringen. Der Wärmestoff durchdringt alle Körper und weist eine Tendenz zur Gleichverteilung auf. Aufgrund der zwischen ihnen vorherrschenden Kraftwirkungen führen Boerhaaves Wärmekorpuskeln ständig Schwingungen aus und teilen diese Oszillationen den Körperpartikeln mit. Die wahrnehmbare Wärme eines Körpers ist die Wirkung dieser Bewegung der *Körperteilchen*.

²⁵ Vgl. *ebd.* 82–83.

²⁶ Dabei ist Kants inkohärente finale Volte außer acht gelassen.

²⁷ Zu Boscovichs Gründen für die Gleichheit der Kraftfunktion vgl. M. Carrier, *Rudjer Boscovich und die induktive Logik*, Zeitschrift für allgemeine Wissenschaftstheorie 16 (1985), 201–212, hier: 203–208.

²⁸ Vgl. Newton 1730 (Anm. 18), 380–383, 387–389, 394–395.

²⁹ Vgl. *ebd.* 395.

³⁰ Für die Darstellung der Theorie Boerhaaves vgl. J. R. Partington, *A History of Chemistry*, London, New York, I (1970), II (1962), III (1963), hier: 1962, 749–750; R. Fox, *The Caloric Theory of Gases. From Lavoisier to Regnault*, Oxford 1971, 12–14; H. Metzger, *Newton, Stahl, Boerhaave et la doctrine chimique*, Paris 1930 (repr. 1974), 54–55.

Boerhaaves Doktrin stellt ein Hybridkonzept dar zwischen einer kinetischen Theorie der Wärme und der später von Lavoisier entwickelten calorischen Wärmetheorie, die konsequent die Schwingungen der Wärmestoff- und Körperteilchen abschafft und Wärme als bloße Anhäufung von Wärmestoff betrachtet.

Boerhaaves im 18. Jahrhundert sehr populäre Theorie ordnete demnach die attraktiven und die repulsiven Kräfte zwei verschiedenen Arten von Materie zu. Wärmestoffpartikel stoßen sich ab, gewöhnliche Körperteilchen ziehen sich an. In der gleichen Linie ordnete Stephen Hales 1727 die repulsiven Kräfte Luftteilchen zu, während alle übrigen Korpuskel einander anziehen. Darüber hinaus besteht eine Attraktion zwischen Luftteilchen und einigen Körperteilchen (nämlich den (brennbaren) Schwefelkorpuskeln).³¹ Offenbar steht auch die oben skizzierte Theorie von Knight in dieser Tradition. Kennzeichnend für diese Strömung ist damit, daß attraktive und repulsive Kräfte nicht einander abwechseln, sondern einander entgegenwirken. Man kann hier von einem *Balancemodell* (im Gegensatz zum Newtonschen Alternationsmodell) sprechen, dem zufolge (1) die repulsiven und die attraktiven Kräfte ihren Sitz in *verschiedenen* Teilchensorten haben und (2) einander *entgegenwirken*. Die Abgrenzung zwischen beiden Modellen findet sich in der folgenden Passage von Gabriel Venel aus dem Jahre 1753 klar ausgesprochen. «Je puis démontrer aussi que ... l'union chimique ... est sans cesse contrebalancée par la chaleur, & non pas alternée par la répulsion. Ainsi je diffère des Newtoniens sur ce point à deux égards; 1^o parce que je connois la cause de la répulsion, qui est toujours le feu; 2^o parce que je considère la cohésibilité & la chaleur comme deux agens qui se contre-balancent & qui peuvent se surmonter réciproquement; au lieu que les Newtoniens considèrent l'attraction & la repulsion comme deux phénomènes isolés, dont l'un commence quand l'autre finit.»³²

Kants *Monadologie* übernimmt zum einen wichtige Züge des Balancemodells, zeigt jedoch zum anderen auch einige Charakteristika des Alternationsmodells.³³ Zunächst wirken auch in Kants Theorie Attraktion und Repulsion einander entgegen und kompensieren sich, so daß sich ein Gleichgewicht ergibt. Andererseits verlegt Kant wie im Alternationsmodell den Sitz der repulsiven und attraktiven Kräfte in Teilchen derselben Art. Bei Kant vermittelt der Wärmestoff nicht wie bei Boerhaave die Repulsion. Kants Wärmestoff ist zwar ursprünglich elastisch, aber nicht der Ursprung aller Elastizität.

Nun findet man auch innerhalb des Balancemodells die Annahme, daß attraktive und repulsive Wirkungen gemeinsam im gleichen Teilchen entspringen. So stoßen Korpus-

³¹ Vgl. Cohen 1966 (Anm. 11), 275.

³² G. F. Venel, Artikel: *Chymie*, in: M. Diderot / M. D'Alembert (eds.), *Encyclopédie ou dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers* III, Paris 1753 (repr. Stuttgart 1966), 408–437, hier: 419.

³³ Kant ist sich gänzlich im klaren darüber, daß Newton ein Alternationsmodell vertreten hatte (vgl. I. Kant, *Versuch, den Begriff der negativen Größen in die Weltweisheit einzuführen* (1763), in: W. Weischedel (ed.), *Immanuel Kant. Werke II*, Darmstadt 1975, 775–819 (im folgenden *Negative Größen*), A VI/Ak II, 165–204, hier: 169) und kennt auch Boerhaaves Theorie des Wärmestoffs (s. u. III. 2).

keln der repulsiven Art einander ab, ziehen jedoch solche der attraktiven Art an (s. o. Hales und Knight). Insofern wirkt auch dort (wie bei Kant) dasselbe Teilchen zugleich anziehend und abstoßend. Dieser Aspekt findet sich auch in der späteren Wärmestofftheorie, in welcher den Wärmestoffteilchen zugleich repulsive und chemisch attraktive, affinitive Kräfte zugeordnet werden.³⁴ Entscheidend für diese Linie ist jedoch, daß Attraktion und Repulsion zwar *vom gleichen* Teilchen, aber *auf verschiedene* Teilchen ausgeübt werden. Wenn also innerhalb des Balancemodells dasselbe Teilchen zugleich Sitz von Anziehung und Abstoßung ist, dann sind diese Wirkungen stets *substanzspezifisch*. Niemals liegt zwischen zwei bestimmten Teilchen zugleich Attraktion und Repulsion vor. Auch im Alternationsmodell herrscht bei einer vorgegebenen Entfernung stets nur entweder Abstoßung oder Anziehung, niemals jedoch beides. Anders Kant. Seine attraktiven und repulsiven Kräfte wurzeln in denselben Teilchen und wirken beide auf alle Entfernungen und auf alle Teilchen. Dies ist allem Anschein nach ein *singuläres Charakteristikum* der Kantschen Theorie. Abgesehen von dieser Besonderheit liegt Kants Doktrin gleichsam in der Mitte zwischen Alternations- und Balancemodell, indem (wie im Alternationsmodell) Attraktion und Repulsion den gleichen Partikeln zugeordnet und (wie im Balancemodell) beide als simultan wirksam aufgefaßt werden.

Insgesamt gesehen gliedert sich Kants *Monadologie* in das dynamistische Theorienspektrum durch die Hypothese ein, daß Ausdehnung und Undurchdringlichkeit nicht als primäre, sondern als abgeleitete Eigenschaften der Materie zu gelten haben und daß diese Eigenschaften auf die Wirkung fundamentaler attraktiver und repulsiver Kräfte zurückgehen. Wie Boscovich und Knight nimmt Kant nahe den Körperteilchen das Vorherrschen repulsiver Kräfte an, die mit kleiner werdendem Abstand zum Teilchen über alle Grenzen wachsen. Dabei sollte hervorgehoben werden, daß Kants Konzeption (wie die Boscovichs) *atomistisch* ist. „Ein Atom“, so definiert Kant 1786, „ist ein kleiner Theil der Materie, der physisch untheilbar ist“ (*M. A. d. N.* 532). Diese Definition umfaßt klarerweise auch Kants Monaden von 1756. Kennzeichnend für dynamistisch konzipierte Atome ist aber, daß eine Begründung ihrer Unteilbarkeit gegeben wird. Boscovichs Atome sind unteilbar, weil sie Punkte sind, und ein Punkt hat – wie schon Euklid wußte – keinen Teil. Kants monadische Atome können nicht geteilt werden, weil in ihnen kein Raum ist.

Charakteristisch für die Kantsche Auffassung ist weiterhin, daß die fundamentalen Bausteine der Materie als verschiedenartig angenommen werden. Diese Ansicht, die Kant mit Venel (und auch John Dalton) teilt, kann man *diaphohyletisch* nennen. Im Gegensatz dazu wäre die Annahme gleicher Bausteine, wie sie etwa von Boscovich verfochten wird, als *isohyletisch* zu kennzeichnen.³⁵ Der entscheidende Beweggrund für Kants Diaphohylesie ist sicherlich in seinem *horror vacui* zu suchen: hätten alle

³⁴ Vgl. Carrier 1986 a (Anm. 15), 349–351.

³⁵ Aus griech. διάφορος – verschieden, ἴσος – gleich, ὕλη – Materie. Für diese Begriffsbildung vgl. M. Carrier, *Zum korpuskularen Aufbau der Materie bei Stahl und Newton*, Sudhoffs Archiv 70 (1986) (b), 1–17, hier: 12.

Elemente gleiche Dichte, so wäre die variable makroskopische Dichte nur durch Rekurs auf interpartikulare Vakua zu verstehen.³⁶ Da letzteres nicht gelten soll, kann auch ersteres nicht bestehen.

Obwohl sich Kants Theorie inhaltlich in das dynamistische Theorienspektrum einordnet, liegt vermutlich keine Beeinflussung vor. Insbesondere war Kant wahrscheinlich nicht mit der einflußreichsten dynamistischen Theorie, derjenigen Boscovichs, vertraut. „Daß Kant Boscovichs frühere Arbeiten gekannt habe, ist so gut wie ausgeschlossen“, schließt Adickes³⁷ und begründet dieses Urteil durch Boscovichs geringen Bekanntheitsgrad in Deutschland.³⁸ Zwar diskutiert Johann Carl Fischer, der Verfasser eines zeitgenössischen, Kants Materietheorie enthusiastisch feiernden *Physikalischen Wörterbuchs*, ausführlich Boscovichs Lehre und würdigt sie als (wenn auch unzulänglichen) Vorläufer der Kantschen Doktrin³⁹, aber man muß bei Lexikonautoren wohl einen überdurchschnittlichen Kenntnisstand unterstellen. Im übrigen zeigt die hier durchgeführte Analyse von Kants *Monadologie*, daß die Unterschiede zu Boscovichs System eher schwerer wiegen als die Ähnlichkeiten, so daß auch inhaltlich eine Beeinflussung keineswegs zwingend nahegelegt wird.

III. Kants Materietheorie in der Kritischen Periode

1. Die Abwendung vom Atomismus

Der entscheidende Unterschied zwischen der frühen und der reifen Materietheorie Kants besteht in der Aufgabe der separaten, unteilbaren Partikel, also in einer Abwendung von Atomismus und einer entsprechenden Hinwendung zu einem kontinuier-

³⁶ Vgl. Kant, *Monadologie* 557/Ak I,486; ebenso auch Kant, *M. A. d. N.* 533. Dies ist das Echo eines Newtonschen Arguments; vgl. Newton 1726 (Anm. 11), 391.

³⁷ Adickes 1924 (Anm. 14), 172.

³⁸ Es mag der Eindruck entstanden sein, daß eine Beeinflussung Kants durch Boscovich schon aus temporalen Gründen ausgeschlossen sei, da Kants *Monadologie* aus dem Jahre 1756, Boscovichs Hauptwerk aber aus dem Jahre 1758 stammt. Jedoch veröffentlichte Boscovich eine erste Skizze seiner Theorie bereits in dem Traktat *De viribus vivis* von 1745, der bezeichnenderweise den gleichen Themenkreis behandelt wie Kants 1747 herausgebrachte *Gedanken zur wahren Schätzung der lebendigen Kräfte*. Dies ist das einzige mir bekannte Indiz zugunsten der Beeinflussungsthese. Dagegen spricht jedoch, daß Kant noch im *Opus postumum* die Hypothese der materiellen Punkte Laplace zuschreibt (vgl. I. Kant, *Opus postumum*, Convolut I–IV, in: Ak 21, Berlin/Leipzig 1936 (im folgenden *Opus postumum*), 406). Diese Zuschreibung ist im übrigen sachlich nicht völlig korrekt, da Laplace nicht in Boscovichs, sondern in Buffons Programm einzuordnen ist: Laplaces Atome hatten zwar eine hohe Dichte, waren aber nicht punktförmig (vgl. Carrier 1986 a (Anm. 15), 338).

³⁹ Vgl. J. C. Fischer, *Physikalisches Wörterbuch oder Erklärung der vornehmsten zur Physik gehörigen Begriffe und Kunstwörter so wohl nach atomistischer als auch nach dynamischer Lehrart betrachtet mit kurzen beygefügtten Nachrichten von der Geschichte der Erfindungen und Beschreibungen der Werkzeuge in alphabetischer Ordnung*, Göttingen I (1798), III (1800), hier: 1798, 752.

theoretisch gefaßten Materiebegriff. Über die Gründe dieser Umorientierung schweigt Kant. Immerhin könnte er bemerkt haben, daß es nicht möglich ist, Kugeln, und insbesondere Kugeln gleichen Volumens, ohne Zwischenräume anzuordnen. Damit müssen die physischen Monaden – allen gegenteiligen Beteuerungen zum Trotz – in einen leeren Raum eingebettet sein. Die Erkenntnis, solcherart die Schlange am eigenen Busen genährt zu haben, mag Kant zu eine Revision seiner Theorie veranlaßt haben. Jedenfalls wird nun in deutlicher Abgrenzung von der *Monadologie* festgestellt: „Die Materie ist ins Unendliche theilbar und zwar in Theile, deren jeder wiederum Materie ist“ (*M. A. d. N.* 503).

Kant beginnt seine Neufassung mit der nur scheinbar harmlosen Kennzeichnung von Materie als „das Bewegliche, sofern es einen Raum erfüllt“ (*ebd.* 496). Diese Raumerfüllung wird dann – in bereits vertrauter Weise – auf die Wirkung einer repulsiven Kraft zurückgeführt.⁴⁰ Neu ist dabei, daß diese repulsive Kraft nun jedem Materieteil zukommen soll, „weil sonst ein Theil ihres [der Materie] Raums (wider die Voraussetzung) nicht erfüllt, sondern nur eingeschlossen sein würde“ (*ebd.* 499). Hierdurch wird die logische Tragweite der Kantschen Kennzeichnung von Materie deutlich: Raumerfüllung ist durchaus wörtlich gemeint. Bereits die Definition des Materiebegriffs enthält also die Verpflichtung auf ein plenistisches Verständnis von Materie.

Den entscheidenden Aspekt in Kants veränderter Haltung erkennt man aus der folgenden Argumentation. In der *Monadologie* hatte Kant vorgetragen, daß die unendliche Teilbarkeit des Raums nicht auch diejenige der Materie impliziert. Diesen Standpunkt behält Kant in den *M. A. d. N.* im Grundsatz bei, bringt jedoch ein Zusatzargument dafür, daß diese Folgerung gleichwohl faktisch gültig sei. Gegen den ‚Monadisten‘, also den Kant des Jahres 1756, erklärt Kant nun, daß eine Monade dem Eindringen einer anderen Monade in die Sphäre ihrer Wirksamkeit nur dann widerstehen könne, wenn jeder Raumpunkt zwischen den beiden mit repulsiver Kraft und also

⁴⁰ Vgl. *M. A. d. N.* 497. Kant sucht nun diese Behauptung auf seinen phoronomischen (d. h. kinematischen) Lehrsatz (das klassische Relativitätsprinzip) zu gründen: „Nun kann mit keiner Bewegung etwas verbunden werden, was sie vermindert oder aufhebt, als eine andere Bewegung eben desselben Beweglichen in entgegengesetzter Richtung (Phoron. Lehrs.). Also ist der Widerstand, den eine Materie in dem Raum, den sie erfüllt, allem Eindringen anderer leistet, eine Ursache der Bewegung der letzteren in entgegengesetzter Richtung. Die Ursache der Bewegung heißt aber bewegende Kraft. Also erfüllt die Materie ihren Raum durch bewegende Kraft...“ (*ebd.*). Der Fehler dieser Argumentation liegt darin, daß sich Kants kinematischer Satz nur auf den Zusammenhang zwischen *Geschwindigkeiten* und inertialen Beobachtern bezieht. Wegen des klassischen Relativitätsprinzips (eben Kants phoronomischem Lehrsatz) sind Geschwindigkeiten nicht Galilei-invariant. Kants Kraftargument bezieht sich jedoch auf Verminderung von Bewegung, mithin auf Geschwindigkeitsänderungen oder *Beschleunigungen*. Schließlich soll Kants Beweis zu Kräften führen, so daß er notwendig auf Beschleunigungen Bezug nehmen muß. Im Gegensatz zu Geschwindigkeiten sind aber Beschleunigungen Galilei-invariant, so daß für sie Kants Lehrsatz gerade nicht gilt. Kants Argument übersieht also die Kluft zwischen Kinematik und Dynamik und stürzt dementsprechend ab.

mit Materie angefüllt sei.⁴¹ Dieses Argument macht nur dann Sinn, wenn fernwirkende Repulsionen ausgeschlossen sind. In der Tat führt Kant, wenn auch erst an späterer Stelle, zum Charakter der Repulsion aus: „Eine bewegende Kraft, dadurch Materien nur in der gemeinschaftlichen Fläche der Berührung unmittelbar auf einander wirken können, nenne ich eine Flächenkraft . . . Die Zurückstoßungskraft, vermittelt deren die Materie einen Raum erfüllt, ist eine bloße Flächenkraft.“⁴² Daraus ergibt sich unmittelbar, daß ein leerer Punkt nicht möglich ist, da die Repulsion der umgebenden Materie, welcher nun von seiten des Leeren nicht mehr widerstanden wird, diesen sofort erfüllen würde. Darin zeigt sich der Weg, auf dem Kant zu seiner Uminterpretation gelangt: Im Unterschied zur *Monadologie* hat die Repulsion in den *M. A. d. N.* den Charakter einer *Kontaktkraft* erhalten. Wegen dieser Kurzreichweitigkeit bedingt jetzt die Teilbarkeit des Raums auch die Teilbarkeit der Materie.

Damit sieht sich Kant nun für die Materie vor dieselbe Schwierigkeit gestellt, der er in der *Monadologie* bezogen auf den Raum begegnet war. Wenn Materie ins Unendliche teilbar ist, so scheint sie aus unendlich vielen unendlich kleinen Teilen zu bestehen. Aus unendlich kleinen Teilen aber, so hatte Kant zuvor argumentiert, kann kein Gegenstand endlicher Größe zusammengesetzt werden (s. o. II.1.). Hatte Kant zuvor eine Lösung dieser Schwierigkeit durch seine relationale Raumtheorie gesucht, so greift er nun auf die Resultate seiner kritischen Philosophie zurück. Da nämlich Materie nur Erscheinung und Raum nur eine Anschauungsform ist, beides also nicht als Ding an sich aufgefaßt werden darf, bedingt die unendliche Teilbarkeit nicht auch das Bestehen unendlich vieler Teile. Die zusammengesetzten *Dinge an sich* bestehen aus Einfachem, nicht jedoch die zusammengesetzten *Erscheinungen*. Bei letzteren sind die Teile *nicht vor*, sondern – durch den Teilungsprozeß – *in* dem Zusammengesetzten (vgl. *ebd.* 506–508). Kants Transzendentalphilosophie führt ihn also auf die Deutung, daß man nicht jedes beliebige Volumenelement als selbständige Größe betrachten muß, wodurch man zu dem Schluß auf unendlich viele Körper in jedem Staubkorn gezwungen wäre. Unendliche Teilbarkeit impliziert nicht das Bestehen unendlich vieler Teile. Kurzum, Kant unterscheidet zwischen der potentiellen und der aktualen Unendlichkeit und ordnet nur erstere der Materie und dem Raum zu.

Es ist nützlich, einen kurzen Blick auf den besonderen Charakter des Kantschen Plenismus zu werfen. Die üblichen plenistischen Strömungen behielten im Grunde das korpuskulare Raisonement bei, schlossen also etwa von der unterschiedlichen makroskopischen Dichte auf unterschiedliche korpuskulare Packungsdichte. Lediglich wurden die interpartikularen Zwischenräume nicht als leer, sondern als mit einem gewichtslosen, alles durchdringenden Fluidum angefüllt gedacht. Typisch für diese Argumentationslinie ist die folgende These von Leibniz: «Et quant au vif argent, il contient à la verité environ quatorze fois plus de matiere pesante que l'eau dans un pareil volume:

⁴¹ Vgl. *ebd.* 504–505. Kant spricht in diesem Zusammenhang von Monaden wie von punktförmigen Zentren einer Kraftsphäre, eine Redeweise, die sich offenbar an die Schlußvolte der *Monadologie* anschließt.

⁴² *Ebd.* 516. Diese Behauptung wird von Kant nicht begründet.

mais il ne s'ensuit point qu'il contienne quatorze fois plus de matiere absolument; au contraire, l'eau contient autant, mais prenant ensemble tout sa propre matiere qui est pesante qu'une matiere etrangere non-pesante, qui passe à travers de ses pores ... Car c'est une étrange fiction que de faire toute la matiere pesante ...»⁴³ Demgegenüber ist Kants Plenismus sehr viel grundlegender und konsequenter. Unterschiedliche makroskopische Dichte wird nicht mehr quasi-korpuskularistisch gefaßt (vgl. *M. A. d. N.* 526), und das (interpartikulare) Leere nicht mehr um den Preis einer Zwei-Materien-Konstruktion vermieden.

Allerdings nähert sich Kant im *Opus postumum* wieder der traditionellen Vorstellungsweise. Kant fügt dort seiner bislang nur physikalischen und methodologischen Argumentation gegen den leeren Raum ein *transzendentes* Argument hinzu. Ein leerer Raum nämlich ist kein möglicher Gegenstand der Erfahrung; die Wahrnehmung des Leeren ist unmöglich. „Denn das würde eine Wahrnehmung vom Nichtseyn als einem den Sinnen vorliegenden Object abgeben. Folglich ist jeder Raum im Verhältnis auf unsere äußere Sinne mit Materie erfüllt zu welchem Satz wir keine Erfahrung auch keinen auf Erfahrung gegründeten Schluss nöthig haben mithin der völlig a priori gefällt werden kann. Durch den leeren Raum kann keine Wirkung der bewegenden Kräfte zu unseren Sinnen gelangen.“⁴⁴ Aus diesen transzendentalen Gründen muß es einen alles durchdringenden Urstoff geben, der *Äther* oder Wärmestoff (vgl. *Opus postumum* 221) genannt werden kann. „Die uranfänglich bewegende Materien setzen einen den ganzen Weltraum durchdringend erfüllenden Stoff voraus als Bedingung der Möglichkeit der Erfahrung der bewegenden Kräfte in diesem Raume welcher Urstoff nicht als hypothetischer zur Erklärung der Phänomene ausgedachter sondern categorisch a priori erweislicher Stoff für die Vernunft im Übergange von den metaph. A. G. der N. W. zur Physik identisch enthalten ist.“⁴⁵ Diesen Übergang zu leisten ist wesentliches Ziel des *Opus postumum*, und offenbar fordert dessen Erreichung doch wieder den Rückgriff auf die subtile Materie der plenistischen Tradition. Vermutlich ist sich Kant darüber klargeworden, daß es in der Materiekonzeption der *M. A. d. N.* nichts gab, womit er das interplanetare Vakuum hätte auffüllen können. Dort konzentriert sich die ganze Argumentation auf das interpartikulare Vakuum und daß nicht der Weltraum leer sei, folgt aus keinem der dort vorgetragenen Gründe.⁴⁶

⁴³ G. W. Leibniz/S. Clarke, *Correspondance Leibniz/Clarke présentée d'après les manuscrits originaux des bibliothèques de Hanovre et de Londres* (1715/16), A. Robinet (ed.), Paris 1957, 138–139.

⁴⁴ *Opus postumum* 219–220. Kant kennzeichnet im *Opus postumum* doppeltes n und doppeltes m stets durch einen Strich über dem einfachen Konsonanten. Aus technischen Gründen ist diesem Gebrauch nicht gefolgt und die übliche Schreibweise angenommen worden.

⁴⁵ *Ebd.* 223. Ähnlich *ebd.* 558, 547–548, 563, 574.

⁴⁶ Kant gibt lediglich eine unbestimmte Erklärung der Art ab, man würde „es nicht unmöglich finden, sich eine Materie zu denken (wie man sich etwa den Äther vorstellt), die ihren Raum ohne alles Leere ganz erfüllte ...“ (*M. A. d. N.* 534). Im *Opus postumum* wird aus der „Nicht-Unmöglichkeit“ transzendente Notwendigkeit.

Nicht nur Kants Annahme der unendlichen Teilbarkeit der Materie, sondern auch sein Plenismus weicht wesentlich von der Materiekonzeption Newtons ab. Boyle folgend nahm Newton eine hierarchische Gliederung von Materieteilchen an. Die primären Partikel, die eigentlichen Atome, verbinden sich zu Teilchen zweiter Stufe, diese wiederum zu Teilchen dritter Stufe und so fort.⁴⁷ Auf jeder höheren Stufe sinkt der Anteil der soliden Materie ab, und es steigt entsprechend der Anteil des leeren Raums.⁴⁸ Diese Vorstellung hat Arnold Thackray die *Nußschalentheorie* der Materie genannt, Priestleys Kennzeichnung folgend, „that all the solid-matter in the solar system might be contained within a nut-shell.“⁴⁹ Kant ist dieser Aspekt der Newtonschen Materietheorie wohlgeklärt. Er erwähnt ihn sowohl allgemein (vgl. *Monadologie* 559/Ak I,486) als auch unter ausdrücklichem Bezug auf das Universum in der Nußschale (vgl. *Opus postumum* 338, 501). Es ist diese Vorstellung, die Kant unter allen Umständen zu vermeiden trachtet.

2. Die Kräfte der Materie

Kant begnügt sich nicht mit der groben Kennzeichnung der materiekonstitutiven Kräfte als attraktiv und repulsiv, sondern gibt eine genauere Charakterisierung an. Die repulsive Kraft wird als ursprüngliche *Elastizität* bezeichnet (vgl. *M. A. d. N.* 500); sie wächst „mit den Graden der Zusammendrückung proportionirlich ...“ (*ebd.* 501). Für die Attraktion führt Kant aus, daß *dieselbe* Kraft, die Materie konstituiert, und also *innerhalb* der Materie wirkt, auch *zwischen* verschiedenen Materieteilchen wirksam ist (vgl. *ebd.* 512). Sie ist eine *Fernwirkung* (vgl. *ebd.*) und proportional zu den *Massen* der beteiligten Materien (vgl. *ebd.* 516, 524).

Darüber hinaus spezifiziert Kant auch die Entfernungsabhängigkeiten der Grundkräfte. Die ursprüngliche Repulsion widersteht der Deformation, strebt also nach Erhaltung des Volumens und wirkt – ob ihres Kontaktcharakters – bloß innerhalb dieses Volumens. Daher würde man die Zurückstoßung „in umgekehrtem Verhältnisse der körperlichen Räume, die jeder dieser Punkte dynamisch erfüllt, mithin des Cubus der Entfernungen desselben von einander schätzen ...“ (*ebd.* 521). Fernkräfte hingegen sind jeweils auf konzentrischen Kugelflächen gleich stark, fallen also mit der Größe dieser Flächen ab (vgl. *ebd.* 519). Daraus ergibt sich, daß die ursprüngliche Repulsion mit $1/r^3$, die ursprüngliche Attraktion mit $1/r^2$ abnimmt. Offenbar reproduziert Kant hier genau die Abstandsabhängigkeiten aus der *Monadologie*.

Allerdings fügt Kant nun einen wichtigen Vorbehalt bei. Diesen Abstandsgesetzen kommt nämlich nicht die gleiche Geltungssicherheit zu wie den übrigen Teilen der *M. A. d. N.* Es ist ihm durchaus zweifelhaft, ob die Herleitung der Abstandsgesetze als metaphysische Konstruktion aufgefaßt werden kann. Vielmehr hat diese Ableitung nur den Status einer „kleine[n] Vorerinnerung zum Behufe des Versuchs einer solchen

⁴⁷ Zu Newtons Vorstellung vom Aufbau der Materie vgl. Carrier 1986 b (Anm. 35), 3–5.

⁴⁸ Vgl. Newton 1730 (Anm. 18), 268.

⁴⁹ Priestley, zitiert nach Thackray 1970 (Anm. 11), 54.

vielleicht möglichen Construction ...“⁵⁰ Kant ist denn auch besorgt, einen möglichen Irrtum auf diesem Felde nicht zum Anlaß allgemeiner Zweifel an seinem Verfahren der metaphysischen Konstruktion werden zu lassen. „Noch erkläre ich, daß ich nicht wolle, daß gegenwärtige Exposition des Gesetzes einer ursprünglichen Zurückstoßung als zur Absicht meiner metaphysischen Behandlung der Materie nothwendig gehörig angesehen, noch die letztere (welcher es genug ist, die Erfüllung des Raums als dynamische Eigenschaft derselben dargestellt zu haben) mit den Streitigkeiten und Zweifeln, welche die erstere treffen könnten, bemengt werde.“⁵¹ Bei den Abstandsgesetzen ist sich Kant also seiner Sache nicht sicher. Diese Gesetze könnten metaphysisch konstruierbar (und damit synthetisch a priori) sein, müssen es aber nicht, und ob gar eine solche Konstruktion entlang der von Kant entwickelten Linie erfolgreich durchgeführt werden kann, ist für ihn alles andere als ausgemacht.

Das von Kant vorgestellte Abstandsgesetz der Repulsion bringt zwei wichtige Probleme mit sich. Zum einen besteht eine deutliche Spannung zwischen dem aus der *Monadologie* übernommenen kubischen Abfall und dem neuen Status der Repulsion als Kontaktkraft. Schließlich sieht man schwer ein, wie eine Kraft, die nur in der Berührung wirkt, eine Abstandsabhängigkeit aufweisen kann. Kant zieht sich durch die Einführung gleichsam virtueller Abstände aus der Affaire. „Wenn es also heißt: die zurückstoßenden Kräfte der einander unmittelbar treibenden Theile der Matrie stehen in umgekehrtem Verhältnisse der Würfel ihrer Entfernungen, so bedeutet das nur: sie stehen in umgekehrtem Verhältnisse der körperlichen Räume, die man sich zwischen Theilen denkt, die einander dennoch unmittelbar berühren, und deren Entfernung eben darum unendlich klein genannt werden muß, damit sie von aller wirklichen Entfernung unterschieden werde“ (*ebd.* 522). Das Abstandsgesetz der Repulsion bezieht sich also bloß auf unendlich kleine Entfernungen, welche aus diesem Grunde ‚nicht wirklich‘ sind. Schließlich ist der „unendlich kleine Zwischenraum ... von der Berührung gar nicht unterschieden, also nur die Idee vom Raume ...“ (*ebd.*).

Es ist nützlich, Kants Argumentation vor dem Hintergrund der Newtonianischen Tradition zu betrachten. In dieser wurde die Reichweite einer Kraft durch das Abstandsgesetz gekennzeichnet. Newtonianische Abstandsgesetze haben die allgemeine Form $1/r^n$, und je größer n ist, desto geringer ist die Reichweite der entsprechenden Kraft. In der Theorie Keills ist eine kubische Abstandsabhängigkeit gerade kennzeichnend für chemische Kräfte, d. h. für solche, die zwar von kurzer Reichweite, aber keinesfalls Kontaktkräfte sind. Kants Abstandsgesetz für die Repulsion paßte also sachlich nicht zu seiner Charakterisierung der Repulsion als Kontaktkraft. Kants Argumentation schert nun hier aus der Newtonianischen Tradition aus und führt die Reichweitenbegrenzung über eine Geltungsbeschränkung des Abstandsgesetzes ein. Diese Geltungsbeschränkung versöhnt also die angenommene extreme Kurzreichwei-

⁵⁰ *Ebd.* 518; ähnlich *ebd.* 521.

⁵¹ *Ebd.* 522–523; ähnlich und unter Einbeziehung der Attraktion *ebd.* 517, 525.

tigkeit der Repulsion mit der Spezifizierung eines Abstandsgesetzes, das Kraftwirkungen auch in durchaus endlichen Abständen merklich werden lassen sollte.

Die zweite Schwierigkeit des Kantschen Repulsionsgesetzes gründet in Newtons korpuskularer Ableitung des Gesetzes von Boyle-Mariotte. Newton hatte gezeigt, daß sich dieses Gesetz aus der Annahme einer umgekehrt proportional mit dem Abstand zwischen Luftteilchen abfallenden repulsiven Kraft herleiten ließ. Allerdings mußte Newton zu diesem Zweck die Wirksamkeit der Kraft auf nächste Nachbarn eingrenzen, also ebenfalls eine separate Geltungsbeschränkung seines langreichweitigen Kraftansatzes einführen.⁵² Die Grundannahme dieser im 18. Jahrhundert überaus einflußreichen Demonstration wies aber eine offenbare Diskrepanz zu Kants kubisch abfallender und darüber hinaus nur bei Kontakt wirksamen Repulsion auf. Kant ist sich dieses Problems durchaus bewußt und unterscheidet zu dessen Lösung zwischen der *ursprünglichen* Repulsion und einer *abgeleiteten*, durch den Wärmestoff vermittelten Abstoßung. „Allein man kann die Ausspannungskraft der letzteren [Newtons 1/r-Repulsion] auch nicht als die Wirkung ursprünglich zurückstoßender Kräfte ansehen, sondern sie beruht auf der Wärme, die nicht bloß als eine in sie [die Luft] eingedrungene Materie, sondern allem Ansehen nach durch ihre Erschütterungen die eigentlichen Lufttheile (denen man überdem wirkliche Entfernung von einander zugestehen kann) nöthigt, einander zu fliehen. Daß aber diese Bebugen den einander nächsten Theilen eine Fliehkraft, die in umgekehrtem Verhältnisse ihrer Entfernungen steht, ertheilen müssen, läßt sich ... wohl begreiflich machen“ (*M. A. d. N.* 522). Kants Notoperation greift demnach auf Boerhaaves Theorie des inwendig bebenden Wärmestoffs zurück (s. o. II.2.), dessen interne Schwingungen sich auf die Luftteilchen übertragen. In der Tat bekannte sich der frühe Kant ausdrücklich zu Boerhaaves Theorie (schreibt sie allerdings Musschenbroek zu, der analoge Vorstellungen vertrat). Die Erfahrung bestätigt nämlich, „daß die Erwärmung nicht in der innern Erschütterung sondern in dem wirklichen Übergange des Elementarfeuers aus einer Materie in die andere bestehe, obgleich dieser Übergang vermutlich mit einer innern Erschütterung begleitet sein mag ...“ (*Negative Größen* A 31 / Ak II, 185). Diese Ansichten hat Kant offenbar auch in der kritischen Periode beibehalten; durch Rückgriff auf sie soll nun die Newtonsche Ableitung in den Kantschen Ansatz hinübergerettet werden. Allerdings, Kants beherzte Transplantation hinterläßt eine unübersehbare Narbe. Denn er flüchtet sich in der Verzweiflung in eine Wärmetheorie atomistischer Provenienz und muß überdem – um Newtons Argumentation übernehmen zu können – von getrennten Luftteilchen sprechen. Diese Inkohärenz wurde innerhalb des Kantianismus sofort bemerkt und zu beseitigen versucht (s. u. IV.1.).

Im Gegensatz zur Repulsion gibt es bei der Attraktion keine Schwierigkeiten, sie in der Erfahrung aufzufinden. Kants ursprüngliche Attraktion ist mit der *Gravitation* identisch. Allerdings muß man begrifflich trennen zwischen der ursprünglichen Attraktion, die Bedingung der Möglichkeit der Erfahrung ist und damit nicht selbst Gegen-

⁵² Vgl. Newton 1726 (Anm. 11), 292–295.

stand der Erfahrung sein kann, und der Gravitation. Dementsprechend bezeichnet Kant die Gravitation als die „Wirkung“ der Attraktion (vgl. *M. A. d. N.* 518), wobei dies nicht als Ausdruck eines Kausalverhältnisses, sondern als Kennzeichnung einer logischen Implikationsbeziehung zu verstehen ist. Die Gravitation ergibt sich erst durch weitere Argumentationsschritte aus der ursprünglichen Attraktion, ist aber faktisch (also extensional) mit ihr identisch. ‚Wirkung‘ ist demnach in begrifflicher (de dicto), nicht sachlicher (de re) Redeweise gemeint.

Einen weiteren Einwand gegen diese extensionale Identifikation von ursprünglicher Attraktion und Gravitation mag man in Kants Mahnung erblicken, daß „selbst die allgemeine Attraction als Ursache der Schweren ... sammt ihrem Gesetze aus Datis der Erfahrung geschlossen werden [muß]“ (*ebd.* 534). Diese Kantsche Einschränkung bezieht sich jedoch nur auf seine eigenen Vorbehalte gegen die metaphysische Konstruierbarkeit des attraktiven Entfernungsgesetzes.⁵³ Jedenfalls bilden die Kantschen Merkmale der ursprünglichen Attraktion als einer der Masse proportionalen Fernkraft

⁵³ Hier entsteht eine Schwierigkeit für die Rekonstruktion des Status der Grundkräfte. Kant betont, daß die reale Möglichkeit der Grundkräfte nicht gezeigt werden kann, daß also der Begriff der Materie nicht konstruierbar ist, weil die Abstandsgesetze der Grundkräfte nicht a priori angegeben werden können (vgl. *M. A. d. N.* 517, 524–525). Die nächstliegende Deutung dafür ist wohl, daß Kant hier erneut die Vorbehalte gegen seine eigenen Konstruktionsbemühungen ausdrückt. Die Nicht-Konstruierbarkeit der Grundkräfte hätte demnach den Status eines von Kant selbst bemerkten Defekts seiner Konzeption, der vielleicht in der Zukunft von anderen behoben werden könnte. – Demgegenüber vertritt Butts die Interpretation, die Nicht-Konstruierbarkeit der Grundkräfte sei nicht als Defekt aufzufassen, sondern ergebe sich zwangsläufig aus einer adäquaten Rekonstruktion des Status der Grundkräfte. Die ursprünglichen Kräfte seien nämlich als *regulative Ideen*, also als unabdingbare Selbsttäuschungen der Vernunft (s. u. III. 4.) aufzufassen. Butts stützt seine Interpretation wesentlich auf eine Argumentation in der *Kritik der reinen Vernunft*, in welcher Kant ausdrücklich von der „Idee der Grundkraft“ spricht (vgl. I. Kant, *Kritik der reinen Vernunft* (1787), W. Weischedel (ed.), Frankfurt 1974, B 676–678). Der dynamistische Zugang empfiehlt sich dann nicht aus erfahrungskonstitutiven, sondern aus methodologischen Gründen: Er bildet ein fruchtbareres Forschungsprogramm als der Atomismus. In der Tat argumentiert Kant auch in den *M. A. d. N.* auf der methodologischen Ebene zugunsten des Dynamismus (vgl. *M. A. d. N.* 524–525, 532–533; für Butts’ Argumentation vgl. Butts 1986 [Anm. 6], 187–196). Nun wäre auch Butts’ Rekonstruktion mit der hier vertretenen Identifikation von ursprünglicher Attraktion und Gravitation verträglich. Zwar entspricht Kantschen Ideen nichts in der Erfahrung, während die Gravitation sehr wohl empirisch aufweisbar scheint. Tatsächlich jedoch ist in Kants Verständnis die Gravitation durchaus nicht unmittelbar der Erfahrung zugänglich. Beobachtbar sind stets nur Bewegungen, also kräfteinduzierte Beschleunigungen, nicht die Kräfte selbst (vgl. *M. A. d. N.* 514–515). – Butts’ Deutung ist insgesamt überzeugend, führt jedoch auf einige Interpretationsprobleme. So versteht man nicht, warum Kant die Konstruktion der Grundkräfte für „vielleicht möglich“ (vgl. *ebd.* 518) hält, und warum Kant die Nicht-Konstruierbarkeit der Grundkräfte als einen Nachteil gegenüber dem atomistischen Zugang anerkennt (vgl. *ebd.* 525). Hätte Butts recht, wäre dies nicht nur kein Nachteil, sondern die bloße Rede von der Konstruierbarkeit der Grundkräfte hätte als Kategorienfehler zu gelten. Diese Passagen stützen demnach eher die „Defekt-Interpretation“.

bereits eine *Kennzeichnung* der Gravitation. Durch Kants Festlegung auf die Masse als die Ladung der ursprünglichen Attraktion ist die Gravitation eindeutig ausgezeichnet. Massen sind nur Gravitationsladungen.⁵⁴

Schreibt man das Gravitationsgesetz in der üblichen Form, also $F = k \frac{m_1 m_2}{r^2}$, so erkennt man, daß für Kant die Massenproportionalität den apriorischen Teil des Gesetzes ausmacht, daß die quadratische Abstandsabhängigkeit vielleicht a priori, daß aber die Gravitationskonstante k (also das Maß der absoluten Stärke gravitativer Wechselwirkungen) empirisch ist. Das Gravitationsgesetz ist also nur zum kleineren Teil sicher metaphysisch konstruierbar und muß daher insgesamt als empirisch eingeschätzt werden. Kurzum, für Kant ist zwar die Gravitation a priori, nicht aber das Gravitationsgesetz.

Die Gravitation ist für Kant also eine *wesentliche* Eigenschaft der Materie und deren Wirkung in die Ferne ein primäres, nicht-abgeleitetes Charakteristikum. Dieser Status wird ihr von Kant in expliziter Abgrenzung gegen Newtons Materietheorie zuerkannt. Newtons Strohmann Samuel Clarke hatte noch in direkter Umkehrung der Kantschen These vom Primat der Fernwirkung gegen Leibniz vorgebracht: "Nothing can any more act or be acted upon, where it is not present; than it can Be, where it Is not."⁵⁵ Kant erhebt jedoch den Anspruch, hier Newton gleichsam zuende zu denken. Die von Newton unterstellte Universalität der Gravitation hätte auch ihn zu der Auffassung führen sollen, daß die Gravitation der Materie als Materie, also wesentlich, zukomme. Newton ist hier also „mit sich selbst uneinig“.⁵⁶

⁵⁴ Plaaß irrt, wenn er hier die bloße Form eines Gesetzes zu erkennen meint, der auch die elektrostatische Attraktion genüge (vgl. Plaaß 1965 [Anm. 3], 123). Deren Ladungen sind elektrische Ladungen, keine Massen.

⁵⁵ Leibniz/Clarke 1715/16 (Anm. 43), 48. Kant kehrt diese These gerade um; vgl. *M. A. d. N.* 513.

⁵⁶ *M. A. d. N.* 515. Während Kant bei der Gravitation offenbar den Schluß von der Universalität auf die Essentialität favorisiert, weist er diesen bei der Kohäsion ab (vgl. *ebd.* 526). – Michael Friedman hat ein ingenüses Argument dafür entwickelt, warum für Kant die Gravitation zwangsläufig eine wesentliche Materieeigenschaft sein mußte. Friedman bezieht sich dafür auf die Tatsache, daß für astronomische Systeme allein das Gravitationsgesetz eine Methode zur Massenbestimmung bereitstellt. Die Gravitation ist also die einzige, allgemein anwendbare Methode für eine Messung von Massen. Zudem, so Friedman, kann für Kant ein objektiver Beschleunigungsbegriff nur im Schwerpunktsystem angegeben werden, dessen Bestimmung die Kenntnis der Massen voraussetzt. Bevor also ein objektiver Beschleunigungsbegriff angebbbar ist, muß die Universalität der Gravitation vorausgesetzt sein. Insofern hängt die Anwendbarkeit des Materiebegriffs auf die Erfahrung davon ab, daß die Gravitation eine universelle Eigenschaft der Materie ist. Als Stütze zitiert Friedman Kants Lehrsatz, daß auf der ursprünglichen Anziehungskraft „die Möglichkeit der Materie als einer solchen“ beruhe (*M. A. d. N.* 516; für Friedmans Argumentation vgl. M. Friedman, *The Metaphysical Foundations of Newtonian Science*, in Butts [ed.] 1986 [Anm. 6], 25–60, hier: 45–51). Die Pointe von Friedmans Rekonstruktion ist es, Kants „Anwendung des Materiebegriffs auf die Erfahrung“ als „Messung der Masse“ zu interpretieren. Allerdings scheint diese Deutung wenig tragfähig. Zwar ist richtig, daß Kant den Rückgriff auf das Schwerpunktsystem für eine Analyse von Wechselwirkungen

In der Tat war Newton eifrig darauf bedacht, aus der Universalität der Gravitation nicht auf deren Essentialität zu schließen. Newtons dritte Regel der *regulae philosophandi* weist explizit den Schluß von ersterer auf letztere zurück.⁵⁷ Für Newton hätte die Essentialität der Gravitation deren unmittelbare Wirkung in die Ferne zur Folge gehabt, und da letzteres offenbar absurd ist, muß auch ersteres zurückgewiesen werden. So schreibt er an Richard Bentley: "It is inconceivable that inanimate brute matter should, without the mediation of something else which is not material, operate upon and affect other matter without mutual contact, as it must be if gravitation, in the sense of Epicurus, be essential and inherent in it. And this is one reason why I desired you would not ascribe innate gravity to me. That gravity should be innate, inherent, and essential to matter, so that one body may act upon another at a distance through a vacuum, without the mediation of anything else, by and through which their action and force may be conveyed from one to another, is to me so great an absurdity that I believe no man who has in philosophical matters a competent faculty of thinking can ever fall into it."⁵⁸ Wesentliches Motiv für Newtons Haltung war die Überzeugung von der fundamentalen *Passivität* der Materie: Materie kann nicht durch ihr selbst innewohnende Kräfte bewegt werden, sondern nur durch von außen an sie herangetragene, immaterielle *aktive* Prinzipien, zu denen auch die Gravitation zählt.⁵⁹ Diese für den Cambridger Platonismus kennzeichnende Betonung der Beschränktheit rein mechanischer, also durch Druck und Stoß vermittelter Wechselwirkungen und der Dualismus zwischen der passiven Materie und den aktiven Prinzipien bilden einen zentralen Teil der Newtonschen Auffassung von Materie. Diese Auffassung wurzelt in der theologischen Überzeugung, daß der Lauf der Welt unmittelbar von Gott abhängig sei und daß der Begriff einer gleichsam selbstgenügsamen Materie, die aus sich heraus Gestalt und Bewegung hervorbringen kann, direkt in den Atheismus führe.

Im Gegensatz dazu ist schon beim frühen Kant eine an Leibniz orientierte Konzeption aufzufinden. Leibniz betont weniger die Macht als die Weisheit Gottes und erkennt diese Weisheit darin, daß Materie aus sich selbst heraus und ohne korrigierenden Hinzutritt Gottes die Einrichtung des Universums hervorbringen kann.⁶⁰ Auf

(und damit für die Bestimmung von Beschleunigungen) für erforderlich hält (vgl. *M. A. d. N.* 545–547). Jedoch ist für Kant dort (im Gegensatz zum *Opus postumum* [s. u.]) das primäre Verfahren zur Massenbestimmung die Messung von Impuls und Geschwindigkeit (also der Bezug auf $m = p/v$) (s. u.), das sich offenbar auf Stoßprozesse und nicht auf die Gravitation stützt (vgl. *M. A. d. N.* 537, 541). Zudem bezieht sich die von Friedman herangezogene Kant-Passage eher auf die materiekonstitutive, also Materie einer bestimmten Ausdehnung erst ermöglichende Rolle der Gravitation statt auf die Möglichkeit der Massenbestimmung astronomischer Objekte.

⁵⁷ Vgl. Newton 1726 (Anm. 11), 380–381. Für eine Analyse der Argumentation Newtons in der dritten Regel vgl. E. McMullin, *Newton on Matter and Activity*, Notre Dame/London 1978, 62–69.

⁵⁸ Newton, in: H. S. Thayer (ed.), *Newton's Philosophy of Nature. Selections from his Writing*, New York, London 1974, 54.

⁵⁹ Vgl. Newton 1730 (Anm. 18), 397–401.

⁶⁰ Vgl. Leibniz/Clarke 1715/16 (Anm. 43), 23, 38–39.

gleicher Linie bemerkt Kant: „Die Materie, die der Urstoff aller Dinge ist, ist also an gewisse Gesetze gebunden, welchen sie frei überlassen notwendig schöne Verbindungen hervorbringen muß ... und es ist ein Gott eben deswegen, weil die Natur auch selbst im Chaos nicht anders als regelmäßig und ordentlich verfahren kann.“⁶¹ Zeigt sich Gott für Newton gerade im extraordinären Zutritt, so offenbart er sich für Leibniz und Kant gerade im gewöhnlichen, gesetzmäßig verlaufenden Geschehen. Eben deswegen kann Materie für Kant selbstgenügsam sein, kann sie aktiv, mit inhärenten Kräften ausgestattet und in dieser Weise „selber eine Quelle des Lebens“ (*Theorie des Himmels* 276 / Ak I, 264) sein, ohne dadurch die von Newton befürchteten theologischen Komplikationen heraufzubeschwören.

Tatsächlich ist im Verlauf des 18. Jahrhunderts die Auffassung, daß die Gravitation der Materie wesentlich innewohne, immer geläufiger geworden und ist in den dynamistischen Konzeptionen (und hier wiederum insbesondere bei Kant) gleichsam auf die Spitze getrieben. Ohne Gravitation kann die Materie gar nicht mehr gedacht werden.⁶²

Insgesamt grenzt sich Kants Materietheorie damit deutlich von derjenigen Newtons ab. Für Kant ist (1) die Materie ins Unendliche teilbar (statt aus Newtons Atomen zu bestehen), und sie ist (2) ein Plenum (und keine Newtonsche Nußschale). Zudem sieht Kant (3) die gravitative Fernwirkung als wesentliches Merkmal *von* Materie (statt als eine durch immaterielle Agentien vermittelte Wirkung *auf* Materie). Kants Materie ist *aktiv* und damit für Newton der Inbegriff aller Verderbnis. Insofern ist es unangebracht, mit Friedman die zentrale Meinungsverschiedenheit zwischen Kant und Newton *nicht* auf der Ebene der Materietheorie anzusiedeln und statt dessen Kants Naturphilosophie als derjenigen Newtons nachgebildet zu sehen.⁶³

Kants Auffassung, daß die gravitative Attraktion ein wesentliches Kennzeichen der Materie bildet und daß die Massenproportionalität dieser Wechselwirkung ein notwendiges, a priori demonstrierbares Charakteristikum darstellt, impliziert zwangsläufig, daß die Menge der Materie primär über die Wirkungen der Gravitation abzuschätzen ist. Das Gewicht muß also als ursprüngliche Eigenschaft der Körper angesehen werden; die schwere Masse geht der trägen Masse logisch voran. Kant hat diese Konsequenz seiner Materietheorie anfangs nicht gesehen. In den *M. A. d. N.* ist das primäre Verfahren der Massenbestimmung die Messung von Impuls p und Geschwindigkeit v , so daß sich die Masse aus $m = p/v$ ergibt. Ein Rückgriff auf die Gravitation gibt ein bloß indirektes Maß der Masse.⁶⁴ Die Masse ist also aus Stoßexperimenten

⁶¹ *Theorie des Himmels* 234–235/Ak I, 228; ähnlich auch *ebd.* 275–276/Ak I, 263–264.

⁶² Für Kants Gefolgsmann Fischer ist die Gravitation eine „nothwendige, mit dem Begriffe der Materie unzertrennlich verknüpfte Eigenschaft der Materie...“ (Fischer 1798 [Anm. 39], 167).

⁶³ Vgl. Friedman 1986 (Anm. 56), 28–29.

⁶⁴ Vgl. *M. A. d. N.* 537, 541. Kant begründet dies dadurch, daß Kräfte nicht grundsätzlich der Masse proportional seien (so etwa die wärmestoffvermittelte Repulsion der Luftteilchen). Deshalb können auch dann, wenn im Einzelfall (wie bei der Gravitation) doch eine Massenproportionalität besteht, Kräfte doch nicht als primäres Maß der Masse betrachtet werden (vgl. *ebd.* 541).

und nicht mit der Waage zu bestimmen; die träge Masse geht der schweren logisch voran.

Zu dieser Einschätzung ist Kant sicherlich durch seine mechanische Definition der Materie geführt worden, der zufolge „Materie . . . das Bewegliche [ist], so fern es als ein solches bewegendes Kraft hat“ (*M. A. d. N.* 536). Die Bestimmung der Masse ‚aus der Bewegung‘ zeichnet aber gerade die träge Masse aus. Hier entsteht demnach ein Konflikt, den Kant in den *M. A. d. N.* zugunsten der Mechanik, im *Opus postumum* aber zugunsten der Dynamik löst. Dort nämlich heißt es von der Bestimmung der Quantität der Materie (also der Masse): „Sie kann nur durch Wägen d.i. durch Zusammendrücken einer elastischen Materie, e.g. Stahlfeder oder und vornehmlich durch die Wage (von gleich langen Hebelarmen) gemessen werden. Das Gewicht welches diese Quantität der Materie anzeigt ist ein Druck den sie vermöge dessen daß sie von dem Erdkörper als Weltkörper gezogen wird ausübt.“⁶⁵ Nun also hat die schwere Masse den ihr in Kants Materietheorie systematisch zukommenden, herausgehobenen Platz auch faktisch eingenommen.

Diese Korrektur führt Kant auch zu einem neuen Blick auf die Imponderabilien. In den *Prolegomena* hatte er noch lässig formuliert: „einige Körper sind schwer“ (*Prolegomena* 266), was zeigt, daß Kant zu dieser Zeit schwerefreie Körper nicht ausschloß. Dies ist durchaus nicht überraschend; schließlich befinden wir uns in der Hoch-Zeit der imponderablen Fluida, in der die gewichtslosen Stoffe der Wärme, des Lichts, der Elektrizität und des Magnetismus (mit Kants Einverständnis) die Ontologie bereicherten. Im *Opus postumum* wird sich Kant darüber klar, daß die Annahme von Imponderabilien die Kohärenz seiner Lehre empfindlich beeinträchtigen könnte, da dann das Gewicht und also die Gravitation schwerlich als wesentliche Eigenschaften der Körper gelten dürften. Folgerichtig weist Kant die Möglichkeit gewichtsloser Körper ab: „Eine absolut imponderabele Materie würde also eine immaterielle Materie mithin ein Begriff seyn der sich selbst widerspricht . . .“⁶⁶ Da Gravitation für Materie konstitutiv ist, wäre eine der Gravitation nicht unterworfenen Materie immateriell, was einen manifesten Widerspruch beinhaltet. Dieser konsequente Schritt wirft aber das Problem auf, jenen vormaligen Imponderabilien, welche der zeitgenössische Stand der Wissenschaft Kant aufzwang, auch innerhalb seiner Theorie einen Platz anzuweisen. Kant verfällt auf den Ausweg, jene als ‚relativ unwägbare‘ zu kennzeichnen. Es könnte nämlich „eine Materie von gewisser Art relativ, d. i. wenn sie sich etwas in einem Medium was mit ihr gleiche Schwere hat z.B. Dunst in der Luft befände ohne Gewicht seyn . . .“⁶⁷ Kants Idee ist offenbar, daß relative Imponderabilität durch eine Kompensation von Gewicht und Auftrieb zustande kommt. Dazu ist aber gerade homogene Dichte erforderlich.⁶⁸ Bei

⁶⁵ *Opus postumum* 408; ähnlich *ebd.* 387, 405–409.

⁶⁶ *Opus postumum* 315; ähnlich *ebd.* 337.

⁶⁷ *Ebd.* 353; ähnlich *ebd.* 290.

⁶⁸ In der Tat hat Kant bereits in einer Kosmogonie von 1755 die Wirkung der Gravitation an Materieteilen *unterschiedlicher* Dichte ansetzen lassen (vgl. *Theorie des Himmels* 276–277/Ak I, 264). Kosmische Strukturen entstehen also dadurch, daß die Gravitation statistische Dichtefluktuationen verstärkt. Dieser Gedanke ist von überraschender Modernität.

relativ imponderablen Materialien darf die Dichte nicht vom Ort abhängen. Wegen der ‚Unsperrbarkeit‘ des Wärmestoffs, d. h. weil dieser sich durch alle Gefäßwände hindurch verbreitet und also eine Tendenz zur Gleichverteilung aufweist, ist die Bedingung homogener Dichte hier gerade erfüllt. Weil nämlich Wärmematerie „nicht sperrbar ist so verbreitet sie sich ins Unendliche im leeren Raum. Auch kann sie aus eben den Ursachen nicht ponderabel seyn.“⁶⁹ Kant schließt also von der allgemeinen Durchdringungsfähigkeit des Wärmestoffs auf dessen universelle Verbreitung und aus dieser auf dessen relative Imponderabilität.⁷⁰ Auf diese Weise kann Kant die imponderablen Fluida trotz der Annahme der Essentialität der Gravitation akzeptieren.

3. Kants Theorie der Aggregatzustände

Kants Theorie der Materie schließt auch eine Erklärung der Verschiedenartigkeit der Aggregatzustände ein. In den *M. A. d. N.* kennzeichnete Kant den flüssigen Zustand durch die reibungsfreie Verschiebbarkeit der Teile, während einer solchen Verschiebung beim festen Körper die Reibungskraft widersteht (vgl. *M. A. d. N.* 526–527). Der Unterschied der Aggregatzustände hängt damit nicht von der Stärke der Kohäsion zwischen den Körperteilen ab, sondern vom Arrangement dieser Kohäsionskräfte. Bei flüssigen Körpern bilden diese ein Gleichgewicht, wirken also mit derselben Stärke in alle Richtungen, und erlauben so eine Verschiebung der Teile.⁷¹ Damit ist allerdings die Möglichkeit der festen Körper noch nicht hinreichend geklärt, denn der Rückgriff auf die Reibung als die die Verschiebung verhindernde Eigenschaft setzt bereits Starrheit voraus (vgl. *M. A. d. N.* 529). Hier sieht Kant (vorerst) eine Grenze seiner Theorie und erklärt: „wie also starre Körper möglich seien, das ist immer noch ein unaufgelöstes Problem, so leicht als auch die gemeine Naturlehre damit fertig zu werden glaubt“ (*ebd.*).

Im *Opus postumum* findet man eine Weiterentwicklung dieser Konzeption, welche nun auch eine befriedigende Erklärung des festen Körpers zu geben versucht.⁷² Kant übernimmt die Kennzeichnung von Flüssigkeit durch reibungsfreie Verschiebbarkeit,

⁶⁹ *Opus postumum* 503; ähnlich *ebd.* 607.

⁷⁰ Dies führt auf die Schwierigkeit, daß man dann nicht mehr (wie in der Wissenschaft der Zeit üblich) Temperaturgradienten auf Dichtegradienten des Wärmestoffs zurückführen darf. Mit anderen Worten, im wärmeren Körper darf der Wärmestoff nicht dichter sein als im kälteren. Kant erkennt dies ausdrücklich durch die Bemerkung an, der Wärmestoff habe nichts mit dem Wärmegefühl zu tun; vgl. *Opus postumum* 233.

⁷¹ Vgl. *M. A. d. N.* 527–528. Ganz ähnliche Vorstellungen finden sich auch bei Boscovich. Zwischen Flüssigkeitsteilchen sind nur Zentralkräfte wirksam, so daß eine seitliche Verschiebung kräftefrei möglich ist, während bei festen Körpern auch seitlich wirkende Kräfte vorhanden sind, die die Verbindung zwischen Partikeln starr erhalten (vgl. Boscovich 1763 [Anm. 22], 302–309).

⁷² Insofern ist Plaaß' Einschätzung unzutreffend, Kant habe einen sehr abstrakten Körperbegriff, der mit dem des materiellen Körpers nichts zu tun habe. Als Grund für diese Einschätzung führt Plaaß Kants Zurückhaltung gegenüber einer Erklärung des festen Körpers an (vgl. Plaaß 1965 [Anm. 3], 92). Aber diese Zurückhaltung Kants in den *M. A. d. N.* war eben keine grundsätzliche, sondern nur eine vorläufige: Kant fiel vorerst nichts Passendes ein.

fügt jedoch nun eine physikalische Erklärung dieser Eigenschaft hinzu. Flüssigkeiten sind grundsätzlich heterogene Substanzen, enthalten also Bestandteile verschiedener Dichte. Durch die Vibrationen des Wärmestoffs werden diese Bestandteile stetig durcheinandergemischt, so daß sich ein Kräftegleichgewicht innerhalb der flüssigen Materie ergibt.⁷³ Verfestigung tritt durch Entweichen des Wärmestoffs ein. Dies kann jedoch nicht dadurch geschehen, daß durch das Entweichen einer mit repulsiven Kräften ausgestatteten Substanz die Attraktionskräfte vermehrt zur Wirkung kommen, da – wie in den *M.A.d.N.* ausgeführt – die Aggregatzustände nicht durch unterschiedliche Stärke der Kohäsion gekennzeichnet sind (vgl. *Opus postumum* 278–279). Vielmehr muß für die Erstarrung noch eine besondere Anordnung der Materieteile hinzukommen. Durch das Entweichen des Wärmestoffs werden die Bestandteile der Flüssigkeit in geringerem Maße durcheinander gemischt, also entmischt, und ordnen sich daher nach ihren chemischen Eigenschaften und ihrer verschiedenen Beweglichkeit an. Es tritt also eine *Schichtung* der heterogenen Bestandteile ein (vgl. *ebd.* 279, 503). Dadurch entsteht ein Gefüge aus Fasern, Platten und Blöcken, das der Verschiebung Widerstand leistet und also den festen Zustand konstituiert (vgl. *ebd.* 279, 502).

In dieses Gefüge ist der Wärmestoff eingelagert (vgl. *ebd.* 503), d.h. der „flüssige Körper ist in Wärmematerie aufgelöst der feste hat sie eingesogen“ (*ebd.* 424). In festen Körpern ist also der Wärmestoff ungleich verteilt.⁷⁴ Das Freiwerden von Wärmestoff beim Gefrieren erklärt sich dann daraus, daß die Zwischenräume des Festkörpergefüges dem Wärmestoff weniger Platz bieten, so daß er entweicht (vgl. *ebd.* 424).

4. Kants Konzeption der Chemie

In Kants systematischer Gliederung der Wissenschaften kommt der Chemie der Status einer ‚uneigentlichen Wissenschaft‘ zu. Die Chemie ist zwar Wissenschaft, d.h. „ein nach Principien geordnetes Ganzes der Erkenntniß“ (*M.A.d.N.* 467), sie enthält jedoch keinen reinen Teil, d.h. ihre Prinzipien sind nicht a priori und apodiktisch gewiß (vgl. *ebd.* 468). Die Grundsätze der Chemie sind bloße Erfahrungssätze. Um den Status einer eigentlichen Wissenschaft zu erlangen, müßten die Gesetze der chemischen Wechselwirkungen, d.h. die Affinitäten und insbesondere deren Abstandsabhängigkeiten metaphysisch konstruierbar sein, „eine Forderung, die schwerlich jemals erfüllt werden wird“ (*ebd.* 471). Die Gesetze der Affinität können nur durch das Experiment erschlossen werden (vgl. *ebd.* 534).

⁷³ Vgl. *Opus postumum* 276. Eine andere Passage legt den Eindruck nahe, daß die Teile durch den Wärmestoff *entmischt* werden (vgl. *ebd.* 500). Diese Passage ist jedoch früher entstanden als die hier zur Rekonstruktion von Kants Theorie primär herangezogenen; sie wird daher als Ausdruck einer vorläufigen, später verworfenen Auffassung gewertet.

⁷⁴ Vgl. *ebd.* 385, 500. Hier wird also explizit ein Dichtegradient des Wärmestoffs angenommen, was dann aber die Imponderabilitätstheorie des Wärmestoffs in Schwierigkeiten bringt (s.o. Anm. 70).

Kants Einstufung der Chemie als uneigentliche Wissenschaft entspringt keinesfalls einer Geringschätzung der Chemie. In einem 1804 im ‚Neuen allgemeinen Journal der Chemie‘ erschienen Nekrolog auf Kant hebt der Herausgeber Ludwig Wilhelm Gilbert Kants chemische Kenntnisse und sein Interesse an der Chemie hervor.⁷⁵ Kants Wertschätzung der Chemie zeigt sich auch daran, daß er die Experimente Georg Ernst Stahls, des Begründers der Phlogistonchemie, neben diejenigen Galileis und Torricellis stellt und in ihnen paradigmatisch die wissenschaftliche Methode verkörpert findet.⁷⁶ Im übrigen wäre es auch sachlich unangebracht, Kants Terminus der ‚uneigentlichen Wissenschaft‘ als Euphemismus für ‚Nicht-Wissenschaft‘ zu lesen, da die Chemie im 18. Jahrhundert gerade durch Stahl den Status einer gleichsam Kochrezepte sammelnden Kunstlehre weit hinter sich gelassen hatte.

Der Schwerpunkt der Kantschen Äußerungen zur Chemie liegt auf metatheoretischem Gebiet: es wird der Status chemischer Begriffe analysiert. Nur zum Konzept der chemischen Verbindung entwickelt Kant inhaltliche Vorstellungen. Der Grund dieses Vorpreschens liegt sicherlich darin, daß Kants plenistische Ideen die Übernahme der üblichen korpuskularen Theorie der Verbindung als Zusammentritt und Anlagerung von Korpuskeln nicht gestattete. Kontinuitätstheoretisch muß hingegen die Verbindung als vollkommene Durchdringung mehrerer Stoffe angesehen werden. Kant unterscheidet zunächst in der üblichen Weise zwischen bloß mechanischer Mischung und chemischer Verbindung und führt zu letzterer aus: „Die Auflösung [d. i. Verbindung] spezifisch verschiedener Materien durch einander, darin kein Theil der einen angetroffen wird, der nicht mit einem Theil der anderen, von ihr specifisch unterschiedenen in derselben Proportion, wie im Ganzen vereinigt wäre, ist eine absolute Auflösung und kann auch die chemische Durchdringung genannt werden.“⁷⁷ Die Bestandteile einer Verbindung sind also nicht mehr separat präsent und in der Verbindung nicht mehr identifizierbar. Auch der Gebrauch eines Ultra-Mikroskops vermöchte (im Gegensatz zur atomistischen Deutung) die Bestandteile nicht mehr getrennt auszumachen. Auf jeder Stufe der Analyse stößt man auf ein uniformes Kontinuum.

Die solcherart konzipierte absolute Auflösung beinhaltet nun in der Tat die vordem (s. o. III.1.) noch zurückgewiesene „vollendete Theilung ins Unendliche“ (*M. A. d. N.*

⁷⁵ Vgl. L. W. Gilbert, *Nekrolog* [auf Kant], *Neues allgemeines Journal der Chemie* 2 (1804), 239–240. Gilbert erwähnt Kants *M. A. d. N.* besonders lobend (vgl. *ebd.*).

⁷⁶ Vgl. *Kr. d. r. V.* B XII–XIII. Kant bezieht sich dort wahrscheinlich auf Stahls Entdeckung, daß dasselbe Element, das bei der Verkalkung eines Metalls frei wird, nämlich Phlogiston, auch den Kalk eines anderen Metalls in den regulinischen Zustand zurückversetzen kann. Die Eigenschaft der Verkalkbarkeit (und ebenso der Brennbarkeit) kann also wie eine Substanz übertragen werden. Noch Lavoisier lobt Stahl für diese „wichtige Entdeckung“ (vgl. A. L. de Lavoisier, *Réflexions sur le phlogistique, pour servir de suite à la théorie de la combustion et de la calcination* (1783), in: *Œuvres de Lavoisier* II, Paris 1862 (repr. New York/London 1965), 623–655, hier: 624–625). Modern gesprochen bedeutet dies, daß Oxidationen und Reduktionen aller Metalle durch Aufnahme und Abgabe desselben Stoffes vonstatten gehen.

⁷⁷ *M. A. d. N.* 530. Allerdings bleibt zweifelhaft, ob die faktisch vorfindbaren Verbindungen tatsächlich den Charakter absoluter Auflösungen haben; vgl. *ebd.* 531.

531). Dies führt hier auf keinen Widerspruch, „weil die Auflösung eine Zeit hindurch continuirlich, mithin gleichfalls durch eine unendliche Reihe Augenblicke mit Acceleration geschieht ...“ (*ebd.*). Die Kontinuität der Zeit macht also hier die kontinuierliche, aktual ins Unendliche geteilte Materie möglich.

Kants Theorie der Verbindung schließt sich unmittelbar an Aristotelische Vorstellungen an. Auch Aristoteles faßte Verbindung als ein gleichförmiges Ganzes auf, das nicht mehr aus seinen Komponenten besteht. Die Bestandteile sind nicht in der Verbindung enthalten, sondern nur aus ihr wiederzugewinnen. In der Verbindung existieren die Elemente nur der Möglichkeit, nicht der Wirklichkeit nach.⁷⁸ Die Verbindungstheorie ist beinahe der einzige Aspekt von Kants chemischen Vorstellungen, welcher von der Stahlschen Chemie abweicht. Stahl kritisiert die Aristotelische Auffassung und damit gleichsam antizipativ auch Kant: „Die Alten ... haben dannenhero von der Mixtion [d. i. der Verbindung] ... einen wunderlichen Concept gehabt. Denn sie haben gewollt, es solle also verstanden und angenommen werden, als wenn die Vermischung [d. i. die Verbindung] eine gantz innigste Durchdringung eines Principii [d. i. Elements] in das andere nach sich zöge, daß wenn ein solches Mixtum auch nach dem infinito mathematico in puncta zertheilet würde, so würden auch dennoch auch die aller-aller kleinsten Stäubchen ein Mixtum bleiben ... Diese Meynung hat von dem irrigen Wahn des Aristoteles ihren Ursprung genommen, ... daß die natürlichen Körper ... auch könnten in puncta mathematica, d. i. solche Particulen abgetheilet werden, die ferner kein Maaß admittirten.“⁷⁹ Stahls Argument gegen Aristoteles ist dabei, daß durch eine derart innige Vermischung die Eigenschaften der Elemente von denen der Verbindung ganz verschieden sein sollten, was jedoch „in Ansehung der contrairten Erfahrung“ zurückgewiesen werden muß.⁸⁰

Stahls Argument steht in der Tradition der *Prinzipienchemie*, die ihrerseits in der Stahlschen Chemie ihren reifen Ausdruck fand. Diese Tradition erklärte die Eigenschaften chemischer Stoffe durch die Annahme von Prinzipien oder Elementen, die als *Träger allgemeiner Eigenschaften* wie Härte oder Brennbarkeit betrachtet wurden.⁸¹ Die gewöhnlichen Substanzen erhalten ihre Eigenschaften durch Teilhabe an diesen Prinzipien. Das heißt jedoch nicht, daß zur Erklärung jeder möglichen Eigenschaft ein allgemeines Prinzip herangezogen wurde. Vielmehr nahm die Prinzipienchemie stets nur wenige Elemente an und versuchte, die Vielfalt der empirisch aufweisbaren Eigenschaften durch Mischungen dieser fundamentalen Prinzipien zu erklären.

⁷⁸ Zur Aristotelischen Theorie der Verbindung vgl. Partington 1970 (Anm. 30), 93–94.

⁷⁹ G. E. Stahl, *Einleitung zur Grund-Mixtion Derer Unterirrdischen mineralischen und metallischen Körper. Alles. Mit gründlichen Rationibus, Demonstrationibus, und Experimentis nach Beccherischen Principiis ausgeführet*, Leipzig 1720 (a), 12–13.

⁸⁰ *Ebd.* 13.

⁸¹ Auch Newtons chemische Auffassung stehen in dieser Tradition (vgl. M. Carrier, *Newton's Ideas on the Structure of Matter and their Impact on Eighteenth-Century Chemistry: Some Historical and Methodological Remarks*, International Studies in the Philosophy of Science. The Dubrovnik Papers 1 (1986) (c), 85–105, hier: 87–88, 90–92.

In der Theorie Stahls galten Wasser sowie die drei Erden Salz, Schwefel und Quecksilber als Elemente, wobei Stahl ausdrücklich betont, diese seien nicht mit den gleichnamigen Stoffen zu verwechseln.⁸² Im einzelnen ist das Salz für „körperliche Grösse / Schwebere / Dichte und Festigkeit / Feuerbeständigkeit und Schmelzlichkeit“⁸³ verantwortlich, das Schwefelprinzip, das Phlogiston, bringt Farbe und Verbrennung hervor. „Ja kürzlich / eben dieses gründlich das körperliche Wesen des Feuers eigentlichst abgebe / außmache / und constituire.“⁸⁴ Wesentlich für die Theorie Stahls war dabei, daß Phlogistonabgabe als Ursache *aller* Verbrennungen und Verkalkungen (d. h. ‚Metalloxydationen‘) galt, was die Vielzahl der prä-Stahlschen Feuerstoffe entbehrlich machte. Das Quecksilberprinzip schließlich brachte die metallischen Eigenschaften, d. h. „Schmeidigkeit“ und „Zähigkeit“ hervor.⁸⁵

Man versteht nun Stahls antizipatives Argument gegen Kant. Es ist z. B. die empirische Substanz Salz aus Wasser und einer Erde (plausiblerweise Salzprinzip) zusammengesetzt, wodurch sich einerseits seine Festigkeit, andererseits seine Löslichkeit in Wasser ergibt.⁸⁶ Die Eigenschaften der Elemente spiegeln sich in den Eigenschaften der Verbindungen wider. Dies jedoch ist unverständlich, wenn die Elemente in der Verbindung nicht mehr separat, sondern nur ins Unendliche enthalten sind.

Abgesehen von der Verbindungstheorie folgt Kant den Stahlschen Linien. So spricht Kant die Prinzipien Erde, Salz und Phlogiston an und reproduziert damit im groben Stahls Modell. Man bringt „alle Materien auf die Erden (gleichsam die bloße Last), Salze und brennliche Wesen (als die Kraft), endlich auf Wasser und Luft als Vehikeln (gleichsam Maschinen, vermitteltst deren die vorigen wirken) ...“ (*Kr. d. r. V.* B 674). Kant gibt hier zunächst die Stahlsche Einteilung in Elemente (eigenschaftstragende Prinzipien) und Instrumente (bloße Hilfsmittel in der Reaktion, die jedoch nicht in Verbindungen eingehen) wieder. Der einzige substantielle Unterschied zur Lehre Stahls besteht in der (durchaus ungewöhnlichen) Einreihung des Wassers in die Klasse der Instrumente (während die Bezeichnung des dritten irdischen Prinzips als ‚Erde‘ wohl als bloß terminologische Eigentümlichkeit gewertet werden darf). Typisch für die Stahlsche Konzeption ist jedenfalls, daß die Luft nicht als Prinzip, sondern als Instrument gilt, da sie keine Verbindungen eingeht. „Die Luft ingredirt die mixtiones nicht ...“⁸⁷ Luft zählt zu den ‚Vehikeln‘ der chemischen Reaktion, insofern sie bestimmte chemische Reaktionen befördert und andere unterdrückt. So wurde z. B. die Tatsache,

⁸² Vgl. G. E. Stahl, *Zufällige Gedancken und nützliche Bedencken über den Streit von dem sogenannten Sulphure, und zwar sowohl dem gemeinen verbrennlichen oder flüchtigen als unverbrennlichen oder fixen*, Halle 1718, 69–71. Charakteristisch ist auch Stahls Mahnung, „nicht / daß der Schwefel / aber wohl in dem Schwefel[-Stoff] / eben dasselbige brennende Grund-Wesen [Schwefelprinzip] sey ...“ (*ebd.* 35).

⁸³ *Ebd.* 73.

⁸⁴ *Ebd.*

⁸⁵ *Ebd.* 74.

⁸⁶ Vgl. G. E. Stahl, *Chymia rationalis und experimentalis; oder Gründliche der Natur und Vernunft gemäße und mit Experimenten erwiesene Einleitung zur Chymie*, Leipzig 1720 (b), 105.

⁸⁷ Stahl 1720 a (Anm. 79), 48. Im Original steht für „Luft“ das zeitgenössische Symbol.

daß Verbrennungen in geschlossenen Gefäßen nur eine bestimmte Zeit andauern, damit erklärt, daß die Luft das aus dem brennenden Körper austretende Phlogiston wegführen müsse. Ist demnach die Luft mit Phlogiston übersättigt, so kann kein weiteres mehr austreten und die Verbrennung kommt zum Stillstand.⁸⁸

Daß Kant nun gerade mit seiner Auffassung von der Luft der Stahlischen Lehre getreulich folgt, ist recht erstaunlich. Bereits 1727 hatte Hales eine ausgedehnte Versuchsreihe zur Fixierung von Luft in Körpern unternommen, die weithin Beachtung fand. Schon Newton erwähnt denn auch, daß Luft in Körpern gebunden werden könne.⁸⁹ Darüber hinaus war es durch die britische pneumatische Chemie im Verlauf des 18. Jahrhunderts schlechthin unabweisbar geworden, daß Luft Verbindungen eingehen kann. Kants schlechter Kenntnisstand spiegelt hier die Rückständigkeit und den Provinzialismus der Chemie in Deutschland in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts wider.

Von besonderem Interesse ist Kants Charakterisierung des Status der chemischen Elemente. Kants Elementbegriff ist nicht-operational; Elemente haben vielmehr den Status eines Vernunftbegriffs oder einer Idee. Die Vernunft systematisiert die Verstandeserkenntnisse, und sie bedient sich dazu der regulativen Ideen, welche zwar Illusionen sind, denen also faktisch nichts entspricht, die aber zur Ordnung der Erscheinungen gleichwohl unerlässlich sind. Die Ideen richten „nämlich den Verstand zu einem gewissen Ziele . . ., in Aussicht auf welches die Richtungslinien aller seiner Regeln in einen Punkt zusammenlaufen, der ob er zwar nur eine Idee (focus imaginarius), d. i. ein Punkt ist, aus welchem die Verstandesbegriffe wirklich nicht ausgehen, indem er ganz außerhalb der Grenzen möglicher Erfahrung liegt, dennoch dazu dient, ihnen die größte Einheit neben der größten Ausbreitung zu verschaffen“ (*K. r. d. r. V. B* 672). Obgleich also eine bloße Schöpfung der Vernunft, ein bloß vorgestellter Brennpunkt, leisten die Ideen die Vereinheitlichung der separaten Erfahrungssätze zu systematisierten Theorien und machen auf diese Weise Wissenschaft möglich. Und genau dieser Status kommt auch den chemischen Prinzipien zu: „Dergleichen Vernunftbegriffe werden nicht aus der Natur geschöpft, vielmehr befragen wir die Natur nach diesen Ideen, und halten unsere Erkenntnis für mangelhaft, so lange sie denselben nicht adäquat ist. Man gesteht: daß sich schwerlich reine Erde, reines Wasser, reine Luft etc. finde. Gleichwohl hat man die Begriffe davon doch nötig (die also, was völlige Reinigkeit betrifft, nur in der Vernunft ihren Ursprung haben) . . .“ (*ebd.* B 673–674). Kants Kennzeichnung der Prinzipien als Ideen erfaßt ausgezeichnet die axiomatische Struktur der Prinzipienchemie. Kant erkennt klar den fiktiven Status der Prinzipien. Die Prinzipien erklären die Eigenschaften der Substanzen und können daher nicht selbst substantiell, nicht selbst im Laboratorium auffindbar sein. Im Gegenteil, die Forderung, daß man ‚reine Erde finde‘, hätte die deduktive Struktur der Theorie

⁸⁸ Vgl. E. Ströker, *Theoriewandel in der Wissenschaftsgeschichte. Chemie im 18. Jahrhundert*, Frankfurt 1982, 103.

⁸⁹ Vgl. Newton 1730 (Anm. 18), 375.

ernstlich durcheinandergebracht. Da die Prinzipien eben Substanzeigenschaften erklärten, konnte man vernünftigerweise nicht annehmen, daß sie selbst Substanzen seien. Die Forderung nach experimenteller Isolierung der Prinzipien wäre ein bloßer Kategorienfehler. Kants Analyse erkennt dies genau.

Stahl selbst hingegen ist hier durchaus nicht so klar. Zwar betont auch er, die elementaren Prinzipien seien nicht frei darstellbar⁹⁰, andererseits fordert er, daß Prinzipien der chemischen Analyse zugänglich sein sollten. Die Inkohärenz des Stahlischen Zugangs zeigt sich in seiner ‚doppelten Definition‘ des Prinzips: „Ein principium oder Anfang wird so wohl a priori dasselbe genennet, das es dasjenige sey, woraus eigentlich und am ersten dessen Wesen bestehet, als auch a posteriori, worin zuletzt der vermischte Körper wiederum resolvirt wird. Beyde Beschreibungen sind wahr.“⁹¹ Hier wird zum einen das Prinzip als apriorisches Element eingeführt, das das ‚Wesen‘, also die Eigenschaften einer Substanz erklärt, es wird zum anderen jedoch auch gefordert, daß es a posteriori aufweisbar und Gegenstand der chemischen Analyse, also selbst stofflich sein soll. Die zweite Charakterisierung läuft der Struktur der Prinzipienchemie durchaus zuwider und ist wohl aus dem Einfluß einer empiristischen Methodologie heraus entstanden. Gerade diese zweite Kennzeichnung gewann nun im Rahmen des Stahlismus zunehmend an Bedeutung. Im Verlaufe des 18. Jahrhunderts wurde immer stärker unterstellt, die Stahlischen Prinzipien, insbesondere das Phlogiston, seien als gewöhnliche Stoffe aufzufassen und müßten damit auch empirisch identifizierbar sein.⁹² Bei Kant ist von dieser späteren Entwicklung nichts zu spüren; er rekonstruiert den Elementbegriff der ursprünglichen Prinzipienchemie. Dabei ist diese Rekonstruktion wesentlich treffsicherer als Stahls doppelte Definition. Kant versteht Stahl hier besser als dieser sich selbst.

IV. *Die chemische Theorie in der Nachfolge Kants*

1. *Dynamismus und Wärmestoff*

Kants Theorie der Materie hat unter den Chemikern seiner Zeit eine gewisse Gefolgschaft gefunden. Zwar bemerkt Franz Baader 1792 zu den *M. A. d. N.*, daß dieses Buch „noch lange die Sensation nicht gemacht zu haben scheint, die es (wie alle Kantische Schriften) über kurz oder lang unfehlbar machen muss,“⁹³ aber trotz dieses anscheinend unterdurchschnittlichen Aufsehens fand Kants Theorie Anhänger, die deren Grundsätze weiterzudenken suchten. Der Schwerpunkt des Interesses lag dabei auf zwei Gebieten. Zum einen ging es um eine bessere Erklärung thermischer Phänomene, um Struktur und Funktion des *Wärmestoffs*, zum anderen um die Entwicklung von Theorien des *festen Körpers*.

⁹⁰ Vgl. Stahl 1720 a (Anm. 79), 24.

⁹¹ Stahl 1720 b (Anm. 86), 4.

⁹² Vgl. Ströker 1982 (Anm. 88), 126–127, 168–170; J. W. Llana, *A Contribution of Natural History to the Chemical Revolution in France*, Ambix 32 (1985), 71–91, hier: 72–75.

⁹³ F. Baader, *Ideen über Festigkeit und Flüssigkeit, zur Prüfung der physikalischen Grundsätze des Hrn. Lavoisier*, Journal der Physik 5 (1792), 222–247, hier: 224.

Einen besonderen Stein des Anstoßes bildete Kants Versuch, seine kubisch abfallende Repulsion mit Newtons Ableitung des Gesetzes von Boyle-Mariotte durch Wärmestoffschwingungen und Bewegungen von Luftteilchen zu versöhnen (s.o. III.2.). Der dynamistisch gesinnte Baader sieht durch Kants Konzession der Luftteilchen die antikorpuskulare Spitze des Dynamismus schon gebrochen. Kant gibt nämlich zu, „dass irgend eine palpable (sperrbare und wiegbare) Flüssigkeit, z. B. die Luft, allerdings aus discreten Theilchen bestehen mag, und dass folglich ihre Flüssigkeit so wenig, als ihre Elasticität originell ist. Hierdurch ist nun aber der Atomistiker vor der Hand schon zufrieden, und da Gross und Klein keinen Unterschied hier macht, so sehe ich nicht, wie man es ihm wehren könnte, auch von diesen und jenen palpablen und wägbaren, und so fort auch von unwägbaren Flüssigkeiten dasselbe zu behaupten, und ihre Flüssigkeit sowohl, als ihre Elasticität aus der Figur und Bewegung ihrer Theilchen zu erklären.“⁹⁴ Wenn Kant an einer Stelle Teilchen einführt, so gibt es keinen Grund, dies an anderen zu verwehren, so daß man auch innerhalb des Atomismus Kant die Grundsätze seiner Lehre zugeben könnte, ohne doch von korpuskularen Anschauungen lassen zu müssen.

Im gleichen Sinne bemängelt auch Ludwig Achim von Arnim 1799 Kants Wärmestoffschwingungen und seine Einführung von Teilchen. „Man hat gegen diesen [Kantschen] Beweis [zur Übernahme des Newtonschen Arguments] mit Recht erinnern können, dass er nicht nur auf ganz unerwiesenen Gründen, auf einer eigenen Wärmematerie, ihren Schwingungen, und auf Theilchen, wo alles noch ungetheilt sich darstellt, beruhe, sondern dass er überdies nach diesen Annahmen nichts beweise, weil jene Wärmematerie andern Gesetzen als jede andere Materie folgen müsse.“⁹⁵ Bei dieser Schwierigkeit will Arnim nun Kant zu Hilfe eilen und das Gesetz von Boyle-Mariotte unmittelbar aus Kants Theorie, also ohne Rückgriff auf zweifelhafte Hilfshypothesen, ableiten. Wenn man nämlich mit Kant annimmt, „dass die Stärke jener [der Repulsion] im umgekehrten Verhältnisse des Kubus der Räume, welche sie erfüllt, die Stärke der Anziehung, welche auf dieselbe wirkt, aber im umgekehrten Verhältnisse des Quadrats eben dieser jedesmahligen Wirkungskreise steht,“⁹⁶ so ergibt sich das Gesetz der Gaskompression auf der Stelle: Sei nämlich R die Repulsivkraft eines Gases und A seine Attraktionskraft, so erhält man die Gesamtkraft F aus dem Verhältnis beider Einzelkräfte. Sei nun V das Volumen eines Gases, so muß man (der Kantschen Vorschrift entsprechend) die Repulsion umgekehrt proportional zum ‚Kubus der Räume‘, also proportional zu $1/V^3$ abfallen lassen, und analog die Entfernungsabhängigkeit der Attraktion proportional zu $1/V^2$ annehmen. Komprimiert man nun ein Gas vom Volumen V_1 auf das Volumen V_2 , so erhält man in beiden Fällen für die resultierende Gesamtkraft:

$$F(V_1) \sim \frac{R(V_1)}{A(V_1)} \sim \frac{V_1^2}{V_1^3}, \quad F(V_2) \sim \frac{R(V_2)}{A(V_2)} \sim \frac{V_2^2}{V_2^3}$$

⁹⁴ *Ebd.* 225–226.

⁹⁵ L. A. von Arnim, *Anweisung zum Gebrauch des Areometers von Say ohne Barometerbeobachtungen; allgemeiner Beweis des Mariottischen Gesetzes und Bemerkungen über dieses Gesetz*, *Annalen der Physik* 2 (1799), 238–245, hier: 241.

⁹⁶ *Ebd.* 240.

Der Quotient beider Grundkräfte ergibt sich daraus zu

$$\frac{V_1^2}{V_1^3} - \frac{V_2^3}{V_2^2} = \frac{V_2}{V_1} \quad ^{97},$$

d. h. die Kräfte verhalten sich umgekehrt wie die Volumina, und das ist in der Tat ein Spezialfall des Gesetzes von Boyle-Mariotte.⁹⁸ Indessen, dieser Versuch, Kant aus der Klemme zu helfen, ist wenig glücklich. Arnim hat den Meister falsch verstanden. Nicht mit den Kuben und Quadraten der *Volumina*, sondern der *Abstände* hatte Kant Attraktion und Repulsion abfallen lassen. Immerhin hätte sich Arnim mit dem Gedanken trösten können, daß noch viele nach ihm mit der Auslegung Kantscher Texte ihre Schwierigkeiten haben würden.

Kants Rückgriff auf Boerhaaves Theorie des Wärmestoffs fand Ende des 18. Jahrhunderts nurmehr wenig Zustimmung. Unter seiner Anhängerschaft stößt man zum einen auf Versuche, den Wärmestoff als der dynamistischen Idee im Grunde zuwiderlaufend aufzugeben, zum anderen auf Bestrebungen, Kants Wärmestoff zu modernisieren. Schließlich hatte Lavoisier in den 1770er Jahren eine konsequentere Fassung der Wärmestofftheorie entwickelt, die insbesondere die Schwingungen der Wärmestoffteilchen abschaffte. Diesen zweiten Weg ging Jeremias Benjamin Richter.

Richter hatte bei Kant studiert und anscheinend dadurch die Idee gefaßt, die Chemie sei als Zweig der angewandten Mathematik zu betreiben.⁹⁹ Richter widmete sich der experimentellen Erforschung der Affinitäten (deren Gesetze ja gerade Kant zufolge nur durch das Experiment aufgedeckt werden konnten (s. o. III.4)). Richter sah in den reagierenden Gewichten chemischer Stoffe ein quantitatives Maß ihrer Affinitätsstärke und versuchte, die Gewichte (und also die Affinitätsstärken) durch arithmetische und geometrische Reihen gesetzmäßig zu erfassen.¹⁰⁰ Ein Merkmal des Kantschen Einflusses auf Richter dürfte dabei auch in Richters besonderer Betonung der Reaktionsgewichte als den kritischen Parametern bei chemischen Umsetzungen bestehen. Schließlich hatte Kant das Gewicht zu einer wesentlichen Eigenschaft der Körper erklärt. An dieser Stelle sieht denn auch Baader eines der wesentlichen Verdienste von Kants Konzeption. Kant „sichert auch den Gebrauch der Wage wider alle Einwürfe des Skepticismus in alle Zeiten hinaus.“¹⁰¹ Richter und Baader erkennen also die Konsequenzen der Kantschen Theorie klarer als Kant dies (in den damals zugänglichen

⁹⁷ Vgl. *ebd.* Die Rechnung wurde klarer gestaltet, die Symbolik modernisiert.

⁹⁸ Für konstante Fläche ($A = \text{const.}$) folgt mit der Definition des Drucks ($p = F/A$) aus $pV = \text{const.}$ auch $FV = \text{const.}$

⁹⁹ Vgl. Partington 1963 (Anm. 30), 674–675. Offenbar hat sich Richter hierzu durch ein etwas trivialisiertes Verständnis von Kants Diktum, der Anteil von Mathematik sei ein Kennzeichen eigentlicher Wissenschaft (vgl. *M. A. d. N.* 470) anleiten lassen.

¹⁰⁰ Zu Richters Bemühungen vgl. Carrier 1986 a (Anm. 15), 360–366.

¹⁰¹ Baader 1792 (Anm. 93), 226–227.

Druckschriften) gelungen war.¹⁰² Dies soll natürlich nicht bedeuten, daß es für eine Betonung des Gewichts gleichsam der Kantschen Theorie bedurft hätte, daß dieser Aspekt erst von Kant in die chemische Forschung eingeführt worden wäre. Schon Newton hatte Reaktionsgewichte als Maß für Affinitätsstärken betrachtet¹⁰³, und Lavoisiers Akzentuierung von Reaktionsgewichten ist wohlbekannt. Trotzdem lieferte Kants Konzeption eine weitere theoretische Stütze für die herausgehobene Rolle des Gewichts.

Während Richters chemische Forschungen eher von Kants Ansatz inspiriert als unmittelbar von ihm geleitet sind, zeigen Richters materietheoretische Konfessionen die direkte Wirkung seines Lehrers. Die Materie ist ins Unendliche teilbar und durch konstitutive Kräfte gebildet: „Die kleinsten Theile (molecularae) der Körper lassen sich niemals empirisch darstellen, weil die Materie bis ins unendliche theilbar gedacht werden kann ...“¹⁰⁴ Zudem ist „gewiß, daß ein Körper auf keine Weise bestehen kann, wenn die beyden Kräfte, centripedale und centrifugale Kraft, nicht im Gleichgewicht stehen sollten ...“¹⁰⁵ Richter versucht nun, den Wärmestoff auf kohärentere Weise als Kant in eine kontinuierlichkeitstheoretische Materiekonzeption einzubauen. Das Problem hierbei ist, wie man sich die Wirkung des Wärmestoffs anders denn als Trennung von Teilchen durch zurückstoßende Wärmestoffkorpuskel vorstellen sollte. Richter führt aus: „Die Theile der Auflösung (molecularae) aber dürfen dieserhalben nicht nothwendig von einander getrennet seyn, sondern es lässet sich ein vollkommener Attactus zwischen ihnen denken. Die [thermische] Ausdehnung beruhet als denn auf dem Satze, daß die Mischung zweyer Materien sp. [spezifisch] schwerer als die eine und sp. leichter als die andere seyn muß.“¹⁰⁶ Richter stützt sich hier auf seinen eigenen Lehrsatz, wonach die ‚reine Schwere‘ einer Verbindung zwischen den reinen Schweren ihrer Bestandteile liegt.¹⁰⁷ Beim Erhitzen verbindet sich ein Körper mit dem Wärmestoff, so daß das spezifische Gewicht des erhitzten Körpers zwischen dem des kalten Körpers und dem des Wärmestoffs liegt. Durch Erhitzen muß das spezifische Gewicht also abnehmen. Da durch das Hinzutreten des Wärmestoffs das absolute Gewicht aber nicht geändert wird, kann das spezifische Gewicht nur abnehmen, wenn das Volumen zunimmt. Auf diese Weise kann die thermische Expansion ohne separate Teilchen erklärt werden.

¹⁰² Fischer folgt hingegen dem Buchstaben des Kantschen Textes und sieht in der Massenbestimmung über den Impuls das primäre Verfahren. Zu allem Überfluß bezeichnet er noch den Bezug auf Waage und Gewicht als Mittel der Massenmessung als typisch atomistisch; vgl. Fischer 1800 (Anm. 39), 497.

¹⁰³ Vgl. Carrier 1986 a (Anm. 15), 329–330.

¹⁰⁴ J. B. Richter, *Ueber die neuern Gegenstände der Chemie. Drittes Stück. Versuch einer Kritik des antiphlogistischen Systems*, Breslau/Hirschberg 1793, 4.

¹⁰⁵ *Ebd.* 5.

¹⁰⁶ *Ebd.* 29.

¹⁰⁷ Vgl. J. B. Richter, *Anfangsgründe der Stöchiometrie I*, Breslau/Hirschberg 1792 (repr. Darmstadt 1968), 152. „Reine Schwere“ meint dabei das maximale spezifische Gewicht einer Substanz (vgl. *ebd.* 137). Dies ist aus Kantscher Perspektive eine eigenartige Begriffsbildung, da es bei Kant gerade keine Grenze der Kompression und also der Dichte gibt. Vielmehr hat sich hier ein atomistischer Fremdkörper in die Auffassungen Richters eingeschlichen.

Die Mehrheit der Kantschen Anhängerschaft setzte indessen nicht wie Richter auf eine kohärente Erklärung des Funktionierens des Wärmestoffs, sondern statt dessen auf dessen Abschaffung. Schließlich ist im Rahmen des Kantschen Dynamismus der Rückgriff auf besondere Stoffe als Ursprung von Effekten, also von ‚Kräften‘, nicht sonderlich plausibel. Die Anhänger haben hier den Meister zuende gedacht. So ordnet Fischer die Stofftheorie der Wärme dem Atomismus zu und bringt gegen die Erklärungen der Elastizität der Luft durch den Wärmestoff vor, diese seien „wahrhaftig lauter künstlich ausgesonnene Hypothesen, welche vorzüglich deßwegen höchst unwahrscheinlich sind, weil es noch durch keinen einzigen Versuch entscheidend hat dargethan werden können, daß es in den Körpern leere Zwischenräume gebe.“¹⁰⁸ Fischer sieht also in der Stofftheorie der Wärme die Annahme impliziert, der Wärmestoff entferne getrennte Korpuskeln voneinander, und weist erstere ab, weil letztere ausgeschlossen ist. Fischer ist dabei offenbar kurzfristig entfallen, daß Kant eben eine solche Konzeption verfochten hatte¹⁰⁹, und ihm ist anscheinend auch Richters Lösungsversuch dieser Schwierigkeit unbekannt. Jedenfalls macht all dies deutlich, wie sehr Kants Rückgriff auf den Wärmestoff und die separaten Teilchen als Stein des Anstoßes empfunden wurde.

So findet sich bei Arnim¹¹⁰ und auch bei Baader¹¹¹ eine deutliche Reserve gegenüber dem Wärmestoff. Georg Friedrich Hildebrandt äußert 1805 sein Unbehagen darüber, einem Stoff Kräfte beizulegen¹¹² und erklärt statt dessen: „Die Wärme ist nichts anderes, als die R [die Repulsivkraft] selbst; ihre einzige unmittelbare Wirkung ist die Ausdehnung, und es ist ohne Zweifel im dynamischen Systeme höchst überflüssig, einen Wärmestoff anzunehmen.“¹¹³ Bemerkenswert an der Argumentation Hildebrandts ist, daß hier gleichsam die Kausalität vertauscht wird: Nicht die Erwärmung ist die Ursache der Expansion, sondern umgekehrt die Expansion die Ursache der Erwärmung. Jedenfalls ist Hildebrandts Schritt systematisch durchaus konsequent. Im Dynamismus sollte es eben keine Urstoffe, sondern nur Urkräfte geben.¹¹⁴ Allerdings leidet Hildebrandts Ansatz darunter, daß er jeden Versuch einer empirischen Anbindung seines Vorschlags vermissen läßt. Auch Alexander Nicolaus Scherer, der Herausgeber des ‚Allgemeinen Journals der Chemie‘, ist durch Kant zu einer Ablehnung des

¹⁰⁸ Fischer 1798 (Anm. 39), 15.

¹⁰⁹ Fischer mißversteht hier Kants Position und schreibt diesem die Auffassung zu, daß die Elastizität der Gase eine Wirkung der ursprünglichen Repulsion sei (vgl. *ebd.* 15–16). Später referiert er wieder korrekt die Lehre Kants und schließt sich ihr (wie stets) an (vgl. *ebd.* 843).

¹¹⁰ Vgl. Arnim 1799 (Anm. 95), 241.

¹¹¹ Vgl. Baader 1792 (Anm. 93), 227.

¹¹² Vgl. G. F. Hildebrandt, *Über die Modificationen der Materie*, Neues allgemeines Journal der Chemie 5 (1805), 605–631, hier: 605.

¹¹³ *Ebd.* 628.

¹¹⁴ Vgl. *ebd.* 626.

Wärmestoffs veranlaßt worden.¹¹⁵ Man erkennt jedoch, daß die dynamistischen Vorbehalte gegen den Wärmestoff keinesfalls auf eine kinetische Wärmetheorie hinauslaufen; eine solche gehörte nicht zu den Optionen, die einer dynamistischen Wärmetheorie offenstanden. Jedenfalls ist bei Hildebrandt die Tendenz unverkennbar, auch thermische Phänomene unter die unmittelbare Legislation der Grundkräfte zu führen.

2. Die Theorien des festen Körpers

Die gleiche Neigung zu einer Ausweitung des Anwendungsbereichs der Grundkräfte zeigt sich auch in den Theorien des festen Körpers. Dabei geht es zunächst um eine Ableitung der verschiedenen Eigenschaften fester Körper. Hildebrandt erhebt den Anspruch: „Nach dem dynamischen System bestehen die Verschiedenheiten der Materie nur in dem verschiedenen Verhältnisse dieser beiden Grundkräfte.“¹¹⁶ Der nächstliegende Kandidat für eine Reduktion auf die Grundkräfte ist die Dichte: „Aus dem verschiedenen Verhältnisse von A (so will ich die anziehende Kraft nennen) und R (so will ich die Dehnkraft bezeichnen) kann ich die verschiedene Dichtigkeit der Materie begreifen.“¹¹⁷ Je größer das Verhältnis der Attraktion zur Repulsion ist, um so größer sollte die Dichte sein. Zudem ist es naheliegend, auch die Härte einer Substanz mit diesem Verhältnis in Beziehung zu setzen. Dies müßte eine Korrelation von Dichte und Härte hervorbringen, die sich empirisch jedoch nicht findet.¹¹⁸ Auch die Schmelz- und Siedetemperaturen, ja sogar die Brennbarkeit, verstanden als das Vermögen einer Substanz, mittels ihrer Attraktionskraft Sauerstoff an sich zu binden, sollten irgendwie mit dem Verhältnis der Grundkräfte (und also der Dichte) zusammenhängen.¹¹⁹

Kennzeichnend für Hildebrandts Unternehmung ist der weit ausgreifende Anwendungsbereich der Grundkräfte. Kant selbst war hier sehr viel zurückhaltender; er wehrte sich ausdrücklich dagegen, die unterschiedlichen Eigenschaften der Stoffe durch die Grundkräfte auszudrücken. „Man hüte sich daher über das, was den allgemeinen Begriff einer Materie überhaupt möglich macht, hinaus zu gehen und die besondere oder sogar spezifische Bestimmung und Verschiedenheit derselben a priori erklären zu wollen“ (*M. A. d. N.* 524). Zwar führt auch Kant den ‚Grad der Raumerfüllung‘, d. i. die Dichte, auf das Verhältnis der Grundkräfte zurück (vgl. *ebd.* 521, 523–524), legt jedoch Wert auf die Einschränkung, daß dies nur für die verschiedenen Grade der Kompression ein und derselben Substanz gilt und nicht für einen Vergleich der Dichte unterschiedlicher Substanzen taugt (vgl. *ebd.* 526). Zudem bemerkt Kant, daß die Stärke der Kohäsion nicht mit der Dichte zusammenhängt; dies ist für ihn ein Grund (neben

¹¹⁵ Vgl. R. Kargon, *The Decline of the Caloric Theory of Heat: A Case Study*, Centaurus 10 (1964/65), 35–39, hier: 36–39.

¹¹⁶ Hildebrandt 1805 (Anm. 112), 606.

¹¹⁷ *Ebd.*

¹¹⁸ Vgl. *ebd.* 607–608.

¹¹⁹ Vgl. *ebd.* 606–609.

anderen), die Kohäsion nicht als Wirkung der Grundkräfte zu begreifen.¹²⁰ Hildebrandts Bestreben, die Grundkräfte zu einem allumfassenden Mittel der Naturerklärung zu erheben, ist also sicherlich nicht von Kant gedeckt.

Von besonderem Interesse ist, wie sich die Anhänger Kants eine dynamistische Theorie des festen Körpers vorstellten. Schließlich waren ihnen die oben (III.3) skizzierten Auffassungen Kants (welche dieser erst im *Opus postumum* entwickelte) nicht bekannt. Die Bedeutung des Problems wurde klar gesehen. Der allgemeinen Einschätzung zufolge hatte Kant gezeigt, daß der flüssige Zustand ursprünglicher als der feste war¹²¹, so daß das Problem auf der Hand lag, aus einer fluiditätstheoretischen Konzeption der Materie die Möglichkeit fester Körper zu erklären. Baader sieht in Kants Einschätzung des festen Zustands als eines sekundären, abgeleiteten Phänomens eine bedeutsame Herausforderung an die atomistische Theorie. „Aber die vorzügliche Schwierigkeit, die Hr. Kant dem Atomistiker zu lösen gab, scheint mir die zu seyn, die sich aus seiner Bemerkung ergibt, dass Festigkeit oder Starrheit nichts weniger, als ein einfaches Phänomen sey ... Der Atomistiker setzt aber gerade das Gegentheil voraus, indem er ... eine zahllose Menge absolut fester und vollkommen starrer Körperchen bilden lässt, welche in nichts als ihrer Figur verschieden sind und ewig durch keine andere Kraft, als die des Stoßes, auf einander zu wirken vermögen.“¹²² Diese Einschätzung läßt im übrigen erkennen, daß man dynamistisch nur dann erfolgreich gegen den Atomismus argumentieren konnte, wenn man auch in dem von Kant vorgegebenen Rahmen eine Erklärung des festen Körpers zu geben verstand (was eben Kant selbst in den damals verfügbaren Druckschriften nicht gelungen war).

Heinrich Friedrich Link unternahm im Jahre 1807 einen derartigen Versuch. Link geht von Kants Theorie des flüssigen Zustands aus, hebt jedoch hervor, daß nur im Innern einer Flüssigkeit ein Gleichgewicht von Attraktion und Repulsion vorherrscht, so daß auch nur dort die freie Verschiebbarkeit der Materieteile vorliegt. Anders an der Oberfläche: „Hier wirken offenbar nur Theilchen von einer Seite, von der andern gar keine, oder doch Theilchen von ganz anderer Art, denen man eine gleiche Wirkung nicht zuschreiben kann. Also ist an der Oberfläche Ziehung von einer Seite, Ungleichheit der Wirkung, folglich Hindernis des Verschiebens, und der flüssige Körper erscheint an der Oberfläche fest.“¹²³ Dies bestätigt sich dadurch, daß auch spezifisch

¹²⁰ Vgl. *M. A. d. N.*; im gleichen Sinne auch Fischer 1798 (Anm. 39), 581.

¹²¹ Vgl. Baader 1792 (Anm. 93), 225; ebenso F. W. J. Schelling, *Erster Entwurf eines Systems der Naturphilosophie* (1799), in: Schellings Werke II, M. Schröter (ed.), München 1927 (repr. 1958), 1–268, hier: 31. Auch Kant selbst spricht von der „Originalität der Eigenschaft der Flüssigkeit“ (*M. A. d. N.* 528). Sachlich scheint diese Kennzeichnung nicht gänzlich angemessen, da Kant den flüssigen Zustand nicht einfach voraussetzt, sondern (über das Kräftegleichgewicht) zu erklären versucht.

¹²² Baader 1792 (Anm. 93), 227.

¹²³ H. F. Link, *Ueber Festigkeit und Flüssigkeit*, *Annalen der Physik* 25 (1807), 133–147, hier: 139. Link spricht trotz Kantscher Konfession von Teilchen, versteht dies jedoch als nur pragmatische Rede.

schwerere Körper, etwa Nadeln, auf einer Flüssigkeitsoberfläche schwimmen wie auf einer Haut. Eine Vervielfältigung solcher Oberflächen bedeutet offenbar eine Vervielfältigung des Widerstands, so daß schließlich ein fester Körper entsteht. Diese Oberflächen bilden nämlich Blättchen und eine „Menge von Blättchen, in einiger Entfernung von einander, mit andern durchkreuzt, damit sie sich nicht berühren, muss einen festen Körper bilden ...“¹²⁴ Diese Theorie wird durch die Erfahrung gestützt. Bei genauerer Untersuchung zeigt sich nämlich, daß fast alle mineralischen Kristalle aus derartigen Blättchen bestehen. Link schließt: „So lässt sich also die Festigkeit aus der Flüssigkeit ableiten, und die erste Eigenschaft der Körper ist nicht die Festigkeit, es ist vielmehr der negative, gestaltlose, gleichförmige Zustand der Flüssigkeit.“¹²⁵ Ist der flüssige Zustand durch ein Gleichgewicht der Grundkräfte gekennzeichnet, so der feste Zustand gerade durch ein fehlendes Gleichgewicht. Auf diese Weise ist Festigkeit durch ein besonderes Verhältnis der Grundkräfte bestimmt. Bei einem Vergleich mit Kants eigenem Modell fällt auf, daß Kant selbst dort keinerlei Gebrauch von den Grundkräften macht, sondern gerade diejenigen Aspekte seines Ansatzes noch stärker akzentuiert, die in der Kant-Nachfolge als besonders anstößig galten, nämlich die Teilchenschwingungen und eine an Boerhaave orientierte Vorstellung des Wärmestoffs. Kants Theorie des festen Körpers hätte in den Augen seiner Gefolgsleute wohl wenig Gnade gefunden.

Einen andersgearteten Versuch der Erklärung fester Körper unternahm Christian Samuel Weiss. Weiss war Kristalltheoretiker und versuchte, die Grundzüge von René Just Haüy's Theorie der Kristalle, die zu jener Zeit allgemeine Anerkennung genoß, aus dynamistischer Sicht zu rekonstruieren. Haüy's Theorie sah vor, daß die mechanische Teilung eines Kristalls (bis zu dem Punkt, wo weitere Teilung nurmehr Zerstörung bedeutete) auf sechs einfache Grundformen führte (z. B. Tetraeder und Oktaeder). Obgleich nicht mehr mechanisch teilbar, können alle sechs Grundformen auf nur drei Konfigurationen reduziert werden, die integrierenden Moleküle. Diese drei integrierenden Moleküle sind Tetraeder, Prisma und Parallelepiped. Zudem nahm Haüy an, daß die Längenverhältnisse in den integrierenden Molekülen einfach seien, also durch Verhältnisse kleiner natürlicher Zahlen (oder deren Wurzeln) dargestellt werden konnten. Durch Aneinanderlagerung dieser integrierenden Moleküle entsteht die makroskopische Form des Kristalls. Auf diese Weise gelang Haüy sowohl eine physikalische Erklärung als auch eine mathematische Behandlung der verschiedenen Kristallformen.¹²⁶

Aus dynamistischer Sicht mußte es darauf ankommen, Haüy's Morphologie der Kristalle, die dieser selbst auf eine atomistische Konzeption, also auf Korpuskeln einer bestimmten Form und eines besonderen Arrangements, gestützt hatte, auf das Wechselspiel von Kräften zurückzuführen. Weiss sah demnach als primäres Ziel eine dynamisti-

¹²⁴ *Ebd.* 140.

¹²⁵ *Ebd.* 141.

¹²⁶ Für einen Überblick über Haüy's Theorie vgl. J. G. Burke, *Origins of the Science of the Crystal*, Berkeley/Los Angeles 1966, 87–102.

sche Erklärung von Figur und Gestalt aus dem Formlosen und Flüssigen¹²⁷ und betonte, daß dieses Problem innerhalb des Kantschen Ansatzes ungelöst war: „der ehrwürdige Kant blieb dabei stehen, dass er das Problem aufstellte, und es als solches geltend machte ... Ich liefere hier die ersten Grundzüge einer dynamischen Krystallisationslehre.“¹²⁸ Um den Anschluß an die Kantsche Lehre zu finden, nahm Weiss an, daß in chemischen Prozessen sowohl eine attraktive als auch eine repulsive Kraft wirksam sei. Bei der attraktiven Kraft handelt es sich um die (epochenübliche) chemische Affinität, die repulsive Kraft wird hingegen neu postuliert. „Es giebt in der Natur nicht bloß eine chemische Anziehung, ein Streben heterogener Materien, sich zu durchdringen und zu vereinigen (chemische Verwandtschaft), sondern auch eine entgegengesetzte Kraft der chemischen Repulsion, ein Streben homogener Körper, sich in heterogene aufzulösen, sich zu entzweien oder zu zerspalten.“¹²⁹ Weiss identifiziert seine chemischen Kräfte demnach nicht mit Kants Grundkräften (wie auch Kant es explizit abgewiesen hatte, die Affinitäten mit den Grundkräften in Beziehung zu setzen (s. o. III.4)). Vielmehr postuliert Weiss eigenständige chemische Kräfte, die in bloßer Analogie zu Kants Grundkräften konzipiert sind.

Zusätzlich entwickelte Weiss ein *polares* Konzept der Materie, in welchem verschiedene chemische Stoffe als einander entgegengerichtete Kräfte gedeutet werden. Jede Materie ist „ein Pol, welcher von seinem entgegengesetzten getrennt ist, und existiert überhaupt bloß in der Trennung. Würde er mit seinem entgegengesetzten vereinigt, so würde er mit demselben ... in Null zusammenfließen, wie positive und negative Electricität ...“¹³⁰ Weiss führt diesen Polaritätsgedanken auf Kant zurück¹³¹, bemängelt jedoch dessen Vernachlässigung in den *M. A. d. N.* Demnach wird also eine Sonderung verschiedener Substanzen nur durch eine kräfteinduzierte Trennung möglich. Diese Trennung wird aber gerade durch die chemische Repulsion zustande gebracht, auf deren Wirkung chemische Abscheidungen und Zerlegungen, aber auch Detonationen beruhen.¹³² Die ausschließliche Wirkung der Affinität führte hingegen zu einer gänzlichen Durchdringung zweier Stoffe.¹³³ Dies bezeichnet offenbar Kants absolute Auflö-

¹²⁷ Vgl. C. S. Weiss, *Dynamische Ansicht der Krystallisation*, Anhang zu: R. J. Haüy, *Lehrbuch der Mineralogie* I, Paris/Leipzig 1804 (a), 365–389, hier: 365–366.

¹²⁸ *Ebd.* 366.

¹²⁹ *Ebd.* 367.

¹³⁰ Weiss 1804 a, (Anm. 127), 367–368.

¹³¹ Weiss bezieht sich hier auf Kants *Negative Größen*; vgl. Weiss 1804 a (Anm. 127), 368. In der Tat führt Kant dort das Konzept der „realen Entgegensetzung“ ein, das vom Begriff des Widerspruchs zu trennen sei: Reale Entgegensetzung meint zwei widerstreitende Tendenzen, die sich nicht widersprechen, sondern aufheben (vgl. *Negative Größen* A 3, A 10/Ak II, 171–172, 173–174). Als Beispiele erwähnt Kant den Gegensatz zwischen der repulsiven Kraft der Undurchdringlichkeit und der Anziehung (vgl. *ebd.* A 19–20/Ak II, 179–180) und die Polarität von Elektrizität und Magnetismus.

¹³² Vgl. Weiss 1804 a (Anm. 127), 369–370.

¹³³ Vgl. *ebd.* 368–369.

sung, die jedoch wegen der von Weiss herangezogenen Wirkung einer chemischen Repulsion faktisch nicht realisiert ist.

Kristallisation wird von Weiss dann durch eine begrenzte Vorherrschaft der Repulsion erklärt. Die repulsiven Kräfte überwiegen zwar die attraktiven, aber nicht so sehr, daß es zu einer tatsächlichen Trennung kommt: „Die Krystallisation ist ein Phänomen der chemischen Repulsion, bei welcher es nicht zum Auseinandertreten, zur Absonderung der Produkte von einander gekommen ist, sondern wo die chemische Trennungskraft noch gehemmt worden ist, ohne ihr Ziel erreichen zu können, und daher bloss als Tendenz erscheint.“¹³⁴ Die vordem in der Lösung innig vermischten Bestandteile werden beim Auskristallisieren als Wirkung der chemischen Repulsion voneinander getrennt, jedoch nicht vollständig, also bis zur Separation aller Bestandteile, sondern, gehemmt durch die chemische Attraktion, nur bis zu einem gewissen Grade, dem kristallinen Festkörper. Bei jeder Materie nämlich muß die „Repulsion als die positive (die vermehrende der Produkte), die Vereinigungskraft dagegen als die beschränkende, negative erscheinen ... dagegen dieselbe (hier) negative Kraft in der entgegengesetzten Sphäre gerade als die positive, die Trennungskraft erscheinen ...“¹³⁵ Gewinnt die Repulsion das Übergewicht, so „strebt sie, die Materie in zwei entgegengesetzte Pole auseinander zu treiben.“¹³⁶ Dabei schwächt sie sich ab und erreicht schließlich den Punkt, an dem die Attraktion „jene [die Repulsion] hemmt, beschränkt und fest hält. Bei diesem Punkte wird demnach chemische Abstossung in der noch erhaltenen Vereinigung der Entgegengesetzten der Charakter seyn. Dies ist Krystallisation.“¹³⁷ Gemeint ist es folgendermaßen: Die Repulsion treibt die Stoffe, die ‚Pole‘, aus der zuvor völlig durchmischten Lösung in verschiedene, getrennte Bestandteile auseinander. Je stärker die Repulsion, um so mehr wird auseinandergetrieben. In diesem Sinne ist die Repulsion positiv. Vom Standpunkt der Ausgangslösung aus betrachtet, der ‚entgegengesetzten Sphäre‘, wird dagegen um so mehr gelöst bleiben, je stärker die Attraktion ist. Nun ist diese positiv. Insgesamt ergibt sich ein begrenztes Auseinandertreten der Bestandteile, und dies kennzeichnet den Kristall.

Daraufhin wendet sich Weiss dem eigentlichen Problem zu, nämlich aufzuzeigen, wie definite Kristallformen auch dynamistisch verstanden werden können, um damit Häüys Theorie auch für Kantianer akzeptabel zu machen. In der Lösung enthält jeder materielle Punkt noch alle Bestandteile; „... allein ein jeder Punkt ist die Spitze eines Winkels, noch ohne Schenkel, die Entzweiung in der Tendenz ...“¹³⁸ Nun jedoch tritt die tatsächliche Entzweiung ein; es „greift der eine Pol in den entgegengesetzten Pol des benachbarten Homogenen nach der Richtung des einen, der andere nach der Richtung des andern (vor der Hand noch ideellen) Schenkels ein ...“¹³⁹ Bestandteil A, der ‚eine

¹³⁴ *Ebd.* 371.

¹³⁵ *Ebd.* 372.

¹³⁶ *Ebd.* 373.

¹³⁷ *Ebd.*

¹³⁸ *Ebd.* 373.

¹³⁹ *Ebd.* 373–374.

Pol', an einem Raumpunkt greift nach dem Bestandteil B, dem ,entgegengesetzten Pol', an einem benachbarten Raumpunkt, dem ,benachbarten Homogenen', und zeichnet so eine bestimmte Richtung aus, einen ,Schenkel'. Dieser Prozeß läuft so fort und „so macht das ganze Continuum wahre, reelle Schenkel ...“¹⁴⁰ Die Pole sind nun in jedem Punkt auseinandergetreten, werden jedoch nicht gänzlich getrennt, sondern fließen mit dem entgegengesetzten Pol des angrenzenden Punktes zusammen. Diese Vereinigung mit dem Pol des Nachbarpunktes führt aber zur „Widerspenstigkeit gegen die Verschiebung,“¹⁴¹ also zum festen Körper. Da die chemische Trennungstendenz substanzspezifisch ist, ergeben sich jeweils andere Richtungen der Schenkel, d. h. andere Kristallisationswinkel. Durch den Zusammentritt mehrerer solcher ebenen Winkel entstehen räumliche Winkel oder körperliche Strukturen. Schon kurze Zeit später allerdings sieht sich Weiss veranlaßt, bei komplizierteren Strukturen zwei verschiedene chemische Repulsionen anzunehmen.¹⁴² Trotzdem hat die Theorie ein wichtiges empirisches Argument zu ihren Gunsten: Sie ergibt nämlich wirklich ebene Flächen für Kristalle, „nicht jene durch verhältnismässig so weite Furchen und Gruben getrennte blosse Linien oder Ecken statt der ächten Flächen ...“¹⁴³ Entscheidend gegen derartige atomistische Verirrungen spricht, „daß die Spiegelung des Lichts auf solchen Pseudoflächen ganz unmöglich wäre. Mache man die Atome, so klein man immer will, das Licht wird mit solcher Feinheit doch jederzeit sich messen können.“¹⁴⁴ Die Kristallfiguren sind damit nicht allein auf dynamistische Konzepte reduziert, sondern es konnte auch ein empirischer Vorteil errungen werden.

Weiss' dynamistische Interpretation des Kristallisationsprozesses hatte einen wesentlichen Fortschritt in der Kristalltheorie zur Folge. Sein Rekurs auf Kräfte, also vektorielle Größen, betonte *Richtungen* als wesentliches Merkmal von Kristalltypen. Daraus entwickelte Weiss ein klares Konzept der Symmetrieachsen in einem Kristall.¹⁴⁵ Weiss' Arbeiten zu einer mathematischen Beschreibung der Kristallformen (die auf eine Vorform der heutigen Millerschen Indizes führten) trugen zu der späteren Verwerfung von Häüys Kristalltheorie bei. Hier also hat sich Kants Dynamismus unzweifelhaft als heuristisch fruchtbar erwiesen.

Trotz Weiss' distanzierender Erklärungen¹⁴⁶ zeigt seine Konzeption doch starke Einflüsse der *Naturphilosophie* von Friedrich Wilhelm Joseph Schelling. So ist etwa die Polarität der Materie eines der zentralen Anliegen Schellings. Diese Polaritätsidee zeigt

¹⁴⁰ *Ebd.* 374.

¹⁴¹ *Ebd.*

¹⁴² C. S. Weiss, *Ueber die Krystallisation des Feldspathes*, Anhang zu: R. J. Häüy, *Lehrbuch der Mineralogie* II, Paris/Leipzig 1804 (b), 711–723, hier: 717

¹⁴³ Weiss 1804 a (Anm. 127), 387.

¹⁴⁴ *Ebd.* 388.

¹⁴⁵ Vgl. Burke 1966 (Anm. 126), 153.

¹⁴⁶ Vgl. Weiss 1804 a (Anm. 127), 366.

sich auch in Hildebrandts Versuch, Kants Theorie weiterzuentwickeln. Hildebrandt will nun nicht allein die Verschiedenheit der Stoffe (s. o.), sondern auch die Verschiedenheit der Kräfte aus den Grundkräften erklären. Zwar werden Wärme, Licht und Elektrizität mit der Wissenschaft der Epoche auf Stoffe zurückgeführt, diese sind jedoch selbst Resultat der Wirkung und Gegenwirkung der Kantschen Grundkräfte. „Es giebt gewisse Materien, welche ursprünglich A/R, nur in verschiedenem Verhältnisse sind. Man könnte auch diese hier Urstoffe nennen. Ein solcher ist das Licht, welches mit seinem R nur ein minimum von A, nur soviel A verbindet, als ihm eben nöthig ist, um gleichsam die erste Stufe der Materie auszumachen. Wir bezeichnen es mit L ... Wie dem R das A entgegengesetzt ist, so giebt es auch einen Urstoff, der dem Lichte entgegengesetzt, nämlich ein solches A/R ist, in welchem das A nur mit einem minimum von R verbunden ist. Wir bezeichnen ihn mit F. Die beiden Kräfte, welche bei der Electricität und dem Galvanismus wirken bestehen aus L und F. Das + E besteht aus L mit einem minimum von F, das – E aus F mit einem minimum von L.“¹⁴⁷ Hier also ist die Kantsche Vorsicht, spezifische Charakteristika der Materie nicht durch die Grundkräfte erklären zu wollen, gänzlich verlassen. Im Gegensatz zu Kant selbst entwickelten also Teile seiner Anhängerschaft recht umgreifende reduktionistische Präferenzen. Es ist diese Tendenz, die Schelling als Konsequenz des Kantschen Systems anspricht und abweist. „Es ist in der That wahrer Unsinn, die unendliche Mannigfaltigkeit der Materien in der Welt durch verschiedene Grade einer und derselben – einfachen – Aktion erklären zu wollen ... Wäre jene Meinung in der Wahrheit gegründet, so müßte die Differenz der Qualitäten der Differenz der specifischen Gewichte und Dichtigkeiten vollkommen parallel gehen; man darf aber nur eine Tafel der letzteren ansehen, um sich vom Gegentheil zu überzeugen.“¹⁴⁸ Schelling antizipiert hier genau diejenigen Schwierigkeiten, denen auch Hildebrandt bei seinem Versuch einer Ausweitung der Kantschen Lehre begegnet (s. o.).

Obgleich sich Schelling im Detail von Kants Ansatz abgrenzt und die Vielfalt von Kräften (allesamt polarer Natur) betont, ist auch er reduktionistischen Bestrebungen nicht gänzlich abgeneigt. Jene Kräftermannigfaltigkeit ist nämlich durch fortschreitende Differenzierung aus einer Grundkraft entsprungen. „Es muß freilich durch die ganze Natur Eine Kraft walten ... Aber diese Eine Kraft könnte unendlich vieler Modificationen fähig und so verschieden seyn als die Bedingungen, unter welchen sie wirkt.“¹⁴⁹

Insgesamt zeigt sich damit, daß Kants Idee der Grundkräfte im frühen Kantianismus zu einem Programm der Reduktion möglichst vieler Kräfte auf die Grundkräfte verschärft wurde. Dieses Programm ist in modifizierter Form, nämlich als Vorstellung der Einheit aller Naturkräfte, auch bei Schelling wirksam. Auch unabhängig von Kants Ansatz war jedoch das Streben nach Vereinheitlichung der Naturkräfte in der Natur-

¹⁴⁷ Hildebrandt 1805 (Anm. 112), 628–629.

¹⁴⁸ Schelling 1799 (Anm. 121), 26–27; ähnlich und unter explizitem Bezug auf Kant *ebd.* 101.

¹⁴⁹ *Ebd.* 105.

wissenschaft des späten 18. und des frühen 19. Jahrhunderts weit verbreitet¹⁵⁰, so daß dieses Streben nicht ausschließlich als Wirkung des Kantschen Werkes begriffen werden kann. Vielmehr steht Kants Werk selbst in der Tradition dieser unifizierenden Strömungen, welche es auf der anderen Seite in bedeutsamem Maße förderte und vorantrieb.

¹⁵⁰ Einen Überblick gibt A. Rüger, *Dualistische Entwürfe zur Einheit der Naturphänomene und die Anfänge der Romantischen Naturphilosophie*, *Berichte zur Wissenschaftsgeschichte* 8 (1985), 219–232.